



**Pedro Alexandre
Sousa de Freitas**

**Caracterização Morfológica e Sedimentar da Praia do
Areão
Transporte Sedimentar Longitudinal**



**Pedro Alexandre
Sousa de Freitas**

**Caracterização Morfológica e Sedimentar da Praia do
Areão
Transporte Sedimentar Longitudinal**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Dr. Carlos Coelho, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

o júri

presidente

Prof. Doutor Paulo Barreto Cachim
professor associado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Cristina Maria Pinto da Gama Castro Pereira
professora auxiliar da Universidade de Évora

Prof. Doutor Carlos Daniel Borges Coelho
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Em primeiro lugar, quero expressar o meu reconhecido agradecimento ao professor Doutor Carlos Coelho do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, meu orientador científico, pelo incansável apoio prestado ao longo do último ano, sem o qual não seria de todo possível a realização do presente trabalho.

Ao professor Doutor Luís Menezes e ao professor Miguel Pessoa, do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, pelo apoio e esclarecimento prestados a nível das campanhas topográficas.

À D. Maria Graça, do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, pelo incentivo e compreensão.

Ao Sr. Raul e ao Eng.º Nuno, do laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, pela ajuda na logística.

À Eng.ª Carla Garrido do Porto de Aveiro, pela ajuda na obtenção do ponto geo-referenciado junto à praia do Areão.

Ao Daniel, pela boa disposição durante os intermináveis dias de laboratório e cansativas horas nas campanhas de campo.

Por fim, mas não menos importante, à minha família, à minha namorada e aos meus amigos e colegas, por todo apoio e força transmitida durante a realização deste trabalho.
Obrigado.

palavras-chave

Praia do Areão, comportamento morfológico, transporte sedimentar, esporão, clima de agitação.

resumo

Este trabalho refere-se ao estudo e caracterização do comportamento da praia do Areão. Dias *et al.* (1994), num estudo de diagnóstico da geomorfologia e da dinâmica sedimentar de troços costeiros, previu que 100% das dunas frontais existentes na praia do Areão, concelho Vagos, fossem destruídas. Em 1999 foi realizada uma intervenção de emergência na praia, em 2001 foi realizado um reforço dunar e em 2002 foi iniciada a construção do esporão da praia do Areão. Desde então, o verdadeiro impacto do esporão no comportamento da orla costeira local e nos volumes de transporte sedimentar verificados, ainda não foram completamente percebidos.

O presente trabalho propôs-se correlacionar as variáveis existentes durante o transporte sedimentar na praia do Areão. Aproximações da variação de volumes de sedimentos medidos na praia emersa foram comparadas com os volumes teóricos em transporte, calculados segundo duas formulações existentes, Kamphuis (1991) e CERC (1984), e por fim a sua relação com o clima de agitação verificado.

Em campanhas de campo foram realizados levantamentos de perfis transversais e recolha de amostras de sedimentos ao longo da praia, possibilitando a classificação morfológica e sedimentar da mesma. Os volumes de transporte medidos foram calculados considerando diferenças de volumes entre sucessivas campanhas (admitindo áreas de influência dos respectivos perfis).

Para o cálculo dos volumes teóricos foi necessária uma base de dados do clima de agitação. Esta foi obtida por meio de uma bóia ondógrafo existente ao largo de Leixões, que realizou registos consecutivos de 10 em 10 minutos de alturas de onda significativas, períodos de onda e direcção de onda. Considerando efeitos de empolamento e refacção de onda, novas alturas de onda e direcção de onda foram calculadas na zona de rebentação. Foi então realizado um estudo sobre o nível de transporte sedimentar pelas duas formulações em cada perfil e estimada a variação de transporte sedimentar pelas diferenças entre perfis consecutivos. Estas variações de volumes de transportes sedimentares foram analisadas individualmente e em comparação com os restantes métodos.

Por, fim, tentaram-se obter correlações entre os transportes sedimentares calculados e o clima de agitação.

keywords

Areão beach, morphological behaviour, sediment transport, groin, wave climate.

abstract

This work refers to the study and characterization of the behaviour of the Areão beach. Dias *et al.* (1994), in a diagnostic study of the geomorphology and sediment dynamics of some costal sections, predicted that 100% of the existing frontal dunes of Areão beach, in Vagos, would be destroyed. An emergency intervention was made in 1999, in 2001 it was made a strengthening on the frontal dunes and in 2002 began the groin construction of the Areão beach. Since then, the real impact of the groin on the local shoreline behaviour and the volumes of sediment transport, haven't yet been completely understood. This work proposed to correlate the known variables during sediment transport on the Areão beach. Approximations of the sediment volume variations measured on the emerged beach were compared with the theoretical calculated volumes according to the two formulations available, Kamphuis (1991) and CERC (1984), and finally the relation with the considered wave climate.

By field work, cross section profiles measures and sediment sampling along the beach were made, allowing morphological and sediment classification. The transport volumes measure were calculated considering volume differences between successive campaigns (admitting influence areas of each cross section profile).

To calculate the theoretical volumes it was necessary a database of wave climate. This was achieved through a directional wave buoy near Leixões, which recorded data each 10 minutes registering significant wave heights, wave periods and wave directions. Considering wave shoaling and refraction effects, new wave heights and wave direction, were calculated in the surf zone. It was done a study on the sediment transport level by both formulations in each cross section profile and also it was estimated the sediment transport volume variation by the consecutive differences between cross section profiles. These volumes variations were analyzed individually and related with other methods.

So, finally, correlations between sediment transport and wave climate were done.

Índice

1.	Introdução.....	9
2.	Descrição do trabalho de campo e laboratório	11
2.1.	Campanhas topográficas.....	11
2.1.1.	Perfis transversais.....	13
2.1.2.	Linha de costa.....	15
2.2.	Análise granulométrica.....	17
2.3.	Caracterização do clima de agitação	20
2.3.1.	Clima de agitação ao largo	21
2.3.1.1.	Altura de onda	22
2.3.1.2.	Período de onda	25
2.3.1.3.	Direcção da onda	28
2.3.1.4.	Comparação com registos anteriores.....	30
2.3.2.	Propagação de onda.....	32
2.3.2.1.	Refracção.....	32
2.3.2.2.	Difracção	33
2.3.2.3.	Empolamento.....	35
2.3.3.	Clima de agitação na rebentação	35
2.3.3.1.	Ângulo entre a crista da onda e a linha de costa.....	35
2.3.3.2.	Altura de onda	37
3.	Caracterização da praia	39
3.1.	Sistema da praia.....	39
3.2.	Perfil de equilíbrio.....	40
3.3.	Inclinação da praia.....	41
3.4.	Grau energético	43
3.5.	Grau de exposição	45
3.6.	Variação das áreas dos perfis transversais.....	47

4.	Transporte sedimentar	51
4.1.	Variação dos volumes emersos	51
4.1.1.	Índice de vulnerabilidade morfológica	53
4.2.	CERC (1984).....	55
4.2.1.	Cálculo do transporte sedimentar	57
4.2.2.	Cálculo das variações de volumes	59
4.3.	Kamphuis (1991).....	60
4.3.1.	Cálculo do transporte sedimentar	60
4.3.2.	Cálculo das variações de volumes	62
4.4.	Discussão	63
5.	Conclusões	65
5.1.	Desenvolvimentos futuros	68
6.	Referências	69
7.	Anexos.....	71

Índice de figuras

Figura 1 – <i>Praia do Areão, concelho de Vagos, distrito de Aveiro.</i>	9
Figura 2 – <i>Estação total utilizada nos registos topográficos.</i>	11
Figura 3 – <i>Localização dos perfis transversais na praia do Areão.</i>	12
Figura 4 – <i>Variação dos perfis transversais ao longo dos seis meses de campanhas de campo.</i>	14
Figura 5 – <i>Evolução da linha de costa ao longo das seis campanhas.</i>	15
Figura 6 – <i>Equipamentos utilizados no laboratório.</i>	18
Figura 7 – <i>Diâmetros medianos.</i>	19
Figura 8 – <i>Comportamento granulométrico duma praia antes e após uma tempestade (adaptado de Rijn et al., 2001).</i>	20
Figura 9 – <i>Definição da altura de onda e comprimento de onda.</i>	22
Figura 10 – <i>Média das alturas de onda em função da direcção de proveniência.</i>	24
Figura 11 – <i>Alturas de onda em função da direcção (período de Nov. 2007 a Abr. 2008).</i>	24
Figura 12 – <i>Períodos de onda por grupo de onda.</i>	26
Figura 13 – <i>Comparação entre as propostas de cálculo do período de onda.</i>	27
Figura 14 – <i>Proposta de cálculo do período de onda em função da altura de onda.</i>	27
Figura 15 – <i>Rumo das ondas ao largo, ao longo do tempo e em função dos grupos de altura de ondas.</i>	28
Figura 16 – <i>Gráfico de frequências totais em função da direcção e grupo de onda.</i>	29
Figura 17 – <i>Frequências de ocorrência de alturas de onda, entre 1981 e 2003 (adaptado de Coelho, 2005).</i>	30
Figura 18 – <i>Frequências de ocorrência de alturas de onda por grupo de onda (Nov. 2007 e Abr. 2008).</i>	30

Figura 19 – Frequências de ocorrência de direcção de onda por quadrante, entre 1981 e 2003 (adaptado de Coelho, 2005).	31
Figura 20 – Períodos de onda registados por Loureiro (2006) entre Mai. de 2001 e Dez. 2004 e proposta de cálculo do período de onda em função da altura de onda (expressão 6).	32
Figura 21 – Refracção das ondas na Foz do Arelho, lagoa de Óbidos (adaptado de Sancho, 2002).	33
Figura 22 – Ortogonais das ondas nos casos de baía, à esquerda, e cabo, à direita (retirado de Sancho, 2002).	33
Figura 23 – Difracção na baía de S. Martinho do Porto (adaptado de Sancho, 2002).	34
Figura 24 – Fenómeno da difracção devido a um quebra-mar (adaptado de Veloso Gomes, 1995, segundo Sancho, 2002).	34
Figura 25 – Perfil transversal de um sistema de praia.	39
Figura 26 – Acreção e erosão a barlamar e sotamar de um esporão.	41
Figura 27 – Declive da face da praia em função do diâmetro médio, para sedimentos da face da praia (retirado de Pereira, 2004).	42
Figura 28 – Coeficiente de escalonamento (ϵ) da face da praia em função dos perfis.	45
Figura 29 – Correlação entre a declividade da face da praia e a característica granulométrica dos sedimentos em função da exposição às ondas (adaptado de Wiegel, 1964).	46
Figura 30 – Aplicação da correlação de Wiegel (1964) aos perfis transversais do Areão.	46
Figura 31 – Áreas dos perfis acima das cotas +2.0 ZH, +4.0 ZH e +6.0 ZH.	48
Figura 32 – Modelos de cálculo das áreas e volumes por perfil.	52
Figura 33 – Vulnerabilidade morfológica da praia do Areão.	55

Índice de tabelas

Tabela 1 – <i>Dias e horas das campanhas topográficas e de recolha de amostras de sedimentos.</i>	11
Tabela 2 – <i>Ângulos da linha de costa com o Norte (rumo), expresso em graus.</i>	16
Tabela 3 – <i>Série de peneiros usados para o ensaio granulométrico das amostras</i>	17
Tabela 4 – <i>Número de registos e relação com o número máximo de registos mensal.</i>	21
Tabela 5 – <i>Altura média de onda (m) por campanha.</i>	22
Tabela 6 – <i>Frequências de ocorrência (%) de cada grupo de onda por campanha.</i>	23
Tabela 7 – <i>Média dos períodos de onda por mês.</i>	26
Tabela 8 – <i>Ângulo médio entre a crista da onda ao largo e a linha de costa.</i>	29
Tabela 9 – <i>Ângulo médio, em graus, entre a crista da onda na rebentação e a linha de costa, por grupo de onda.</i>	36
Tabela 10 – <i>Alturas de onda ao largo e na rebentação (m).</i>	37
Tabela 11 – <i>Inclinações (%) dos perfis ao longo do período estudado.</i>	43
Tabela 12 – <i>Diferenças de áreas [m²] dos perfis, acima de determinadas cotas entre campanhas consecutivas.</i>	49
Tabela 13 – <i>Volumes de cada perfil acima da cota +2.0 ZH, em milhares de m³.</i>	52
Tabela 14 – <i>Diferenças de volumes por perfil, em milhares de m³, entre campanhas.</i>	53
Tabela 15 – <i>Coeficiente empírico k da fórmula CERC, segundo proposta de Valle et al. (1993).</i>	56
Tabela 16 – <i>Transporte total em milhões de m³, pela fórmula de CERC, usando proposta de Valle et al. 1993 para o coeficiente empírico.</i>	57
Tabela 17 – <i>Transporte total em milhões de m³ pela fórmula CERC, usando 0.39 como coeficiente empírico.</i>	58

Tabela 18 – Transporte sedimentar em milhares de m^3 , em função do grupo de onda, do perfil e do mês.	59
Tabela 19 – Variações de volume, segundo formulação CERC (1984), em milhares de m^3	59
Tabela 20 – Transporte total em milhões de m^3 , pela fórmula de Kamphuis (1991).	61
Tabela 21 – Transporte sedimentar em milhares de m^3 em função do grupo de onda, do perfil e do mês.	62
Tabela 22 – Variações de volume, pela formulação de Kamphuis (1991), em milhares de m^3	62
Tabela 23 – Direcção da onda ao largo por grupo de onda.	71
Tabela 24– Ângulo entre a crista da onda e a linha de costa ao largo.....	71
Tabela 25 – Frequências de ocorrência dos grupos de onda por direcção, em cada mês.	72
Tabela 26 – Dados de cálculo dos coeficientes de empolamento e refacção.	74
Tabela 27 – Coeficiente de empolamento.....	74
Tabela 28 – Coeficiente de refacção.....	75
Tabela 29 – Ângulo entre a crista da onda e a linha de costa na rebentação.	76
Tabela 30 – Altura de onda na rebentação.	77

Lista de símbolos

a	amplitude da onda
CERC	Coastal Engineering Research Center
d_b	profundidade no início da zona de rebentação
d_{50}	diâmetro pelo qual passam 50% dos sedimentos
E	energia da onda
g	aceleração gravítica
H_s	altura de onda significativa
H_0	altura de onda significativa ao largo
H_b	altura de onda significativa na rebentação
I_v	índice de vulnerabilidade
I_m	índice de momento
k	coeficiente empírico da fórmula CERC
k_b	relação entre a altura de onda na rebentação e a respectiva profundidade
K_r	coeficiente de refração
K_s	coeficiente de empolamento
L_0	comprimento de onda ao largo
L_b	comprimento de onda na rebentação
m	inclinação da praia
n	porosidade dos sedimentos
NMA	nível médio da superfície da água do mar
Q	volume de sedimentos transportados
T	período de onda
V_m	volume para o momento I_m correspondente
V_{max}	volume máximo acima do nível médio do mar
V_{med}	volume médio acima do nível médio do mar
V_{min}	volume mínimo acima do nível médio do mar
ZH	zero hidrográfico
α_0	ângulo relativo entre a crista da onda ao largo e a linha de costa
α_b	ângulo relativo entre a crista da onda na rebentação e a linha de costa
ε	coeficiente de escalonamento
ρ	massa volúmica da água
ρ_s	massa volúmica do sedimento
σ	frequência angular das ondas
ω_s	velocidade de queda das partículas

1. Introdução

Diversos estudos sobre as mudanças morfológicas da orla costeira foram e estão a ser realizados. Quando estas mudanças representam regressão da linha de costa e entram em conflito com a actividade humana são um problema para a sociedade. Esta situação é cada vez mais corrente em Portugal. Dados estatísticos e estudos fundamentados serão no futuro necessários para um melhor planeamento e uma melhor intervenção na orla costeira.

Dias *et al.* (1994), num estudo de diagnóstico da geomorfologia e da dinâmica sedimentar de troços costeiros, previram que em 2010, 100% das dunas frontais existentes na Praia do Areão, concelho Vagos (ver Figura 1), fossem destruídas. Em 1999 foi realizada uma intervenção de emergência na praia, em 2001 foi realizado um reforço dunar e em 2002 foi iniciada a construção do esporão da praia do Areão. Desde então, o verdadeiro impacto do esporão no comportamento da orla costeira local e os volumes de transporte sedimentar verificados, ainda não foram totalmente compreendidos.

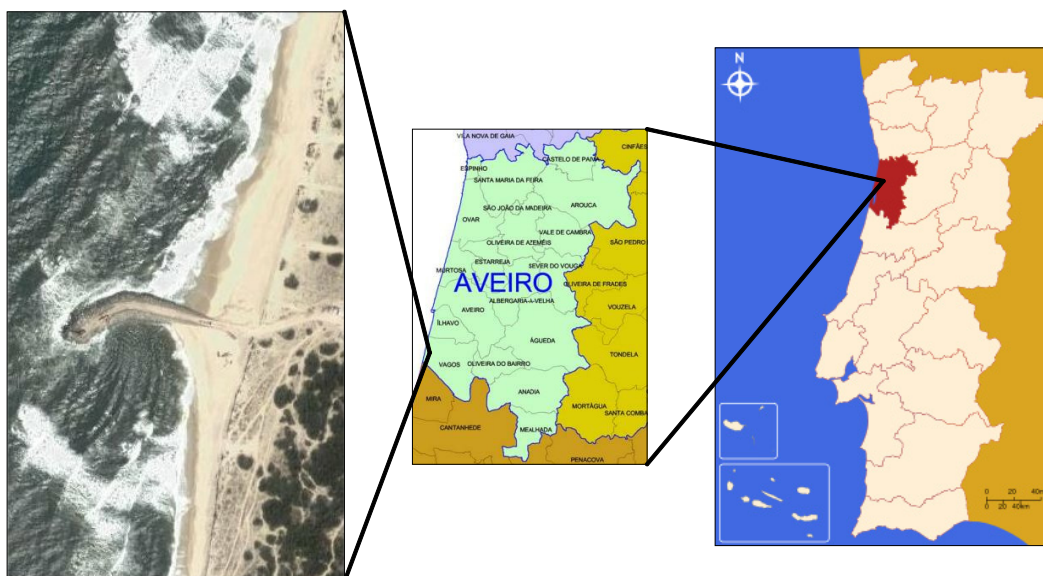


Figura 1 – Praia do Areão, concelho de Vagos, distrito de Aveiro.

O presente trabalho pretende correlacionar as variáveis existentes durante o processo de transporte sedimentar e as variações volumétricas da zona emersa da praia, a Norte e a Sul do esporão existente na praia do Areão. Foram realizadas campanhas de campo para recolha de amostras sedimentares e registo topográfico ao longo da praia possibilitando a classificação morfológica e sedimentar da mesma. Com os pontos topográficos obtidos nas campanhas, num total de 232 pontos, foi possível a aquisição de seis perfis transversais em cada uma das campanhas. Através dos perfis transversais, pode-se estimar a inclinação da praia, a variação de áreas dos perfis transversais e a

consequente variação de volumes. Com as amostras de sedimentos recolhidas (três em cada perfil transversal) e pela combinação entre elas realizaram-se no total 162 análises granulométricas permitindo assim a análise do comportamento sedimentar da praia nos seus perfis transversais e na direcção longitudinal da praia.

Através de propostas de Guza e Inman em 1975, segundo Loureiro (2006), e Wiegel (1964), foram realizadas classificações dos perfis transversais quanto ao grau energético e de exposição. Quanto ao grau energético, é necessária a caracterização do coeficiente de escalonamento que se define em função da altura de onda, do período de onda e da inclinação da praia. Em relação à classificação quanto à exposição, é definida graficamente segundo Wiegel (1964), e varia em função da inclinação da praia e do diâmetro mediano da granulometria.

A base de dados do clima de agitação foi obtida por meio de uma bóia ondógrafo existente ao largo de Leixões, que registou consecutivamente de 10 em 10 minutos alturas de onda significativas, períodos de onda e direcção ao largo num período de seis meses. Para melhor compreensão e estudo posterior do transporte sedimentar, realizou-se a divisão das ondas por cinco grupos de altura de onda (≤ 1 ,]1,2],]2,3],]3,6] e ≥ 6). Como as formulações consideradas no presente trabalho, Kamphuis (1991) e CERC (1984), necessitam de dados do clima de agitação na rebentação, consideraram-se alguns efeitos no desenvolvimento da onda. Assim, foram encontradas novas alturas de onda e direcção de onda na zona de rebentação considerando os efeitos de empolamento e refacção de onda. Deste modo, foi possível obter climas de agitação diferentes para cada grupo de onda em cada perfil considerado.

Realizou-se também uma estimativa da variação de volume, entre sucessivas campanhas, pela análise das diferenças de transporte de perfis consecutivos, admitindo as respectivas áreas de influência. Por fim, estas foram comparadas com os volumes medidos no campo e tentou-se relacionar com o clima de agitação considerado.

2. Descrição do trabalho de campo e laboratório

Neste capítulo explica-se o trabalho de campo e laboratório realizado, assim como, uma série de considerações de nível geral. O capítulo divide-se em três partes fundamentais, as campanhas topográficas, a análise granulométrica dos sedimentos da praia e a caracterização do clima de agitação. As campanhas topográficas e de recolha de amostras de sedimentos no terreno, tiveram lugar nos dias em que tinham sido planeadas, de acordo com a lua nova em período de baixa-mar (Tabela 1).

Tabela 1 – Dias e horas das campanhas topográficas e de recolha de amostras de sedimentos.

	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
Dia	14	12	9	13	12	9
Hora da baixa-mar	11:00	10:20	09:30	13:00	12:00	11:00
Dias anteriores à campanha	13	27	28	33	28	27

O início do registo dos dados ocorreu em 31 de Outubro de 2007. Os dias entre campanhas serviram de plataforma para a base de dados do clima de agitação, como será visto no ponto 2.3.1. Um dos objectivos do trabalho de campo foi a realização das campanhas com cerca de 30 dias de intervalo, sabendo que as condições meteorológicas poderiam alterar o planeamento a qualquer momento. A média de dias entre campanhas é de 29 dias, pelo que o objectivo foi cumprido.

2.1. Campanhas topográficas

Os equipamentos utilizados na topografia durante as campanhas de campo foram cedidos pelo Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro (estação total NIKON DMT-A20_{LG}, Figura 2, e respectivos acessórios, bandeiras e comunicações rádio).



a) no esporão na campanha de Dezembro



b) localização do ponto geo-referenciado

Figura 2 – Estação total utilizada nos registos topográficos.

Uma das primeiras dificuldades encontradas foi a definição da forma como seriam considerados os perfis relativamente à linha de costa. Se estes fossem perpendiculares à linha de costa em cada campanha, teriam variações entre as campanhas, o que dificultaria comparações ao longo do tempo. Optou-se então por adoptar uma posição fixa e paralela ao esporão de modo a ser constante em todas as campanhas. Na primeira campanha, em Novembro no lado Sul do esporão, esta metodologia não foi seguida, pelo que houve uma pequena diferença nos perfis 300 e 500 para os restantes, com estes perfis um pouco desviados da sua orientação e logo com maior comprimento de praia.

Assim, foram definidos dois pontos no esporão, um sensivelmente a meio e outro próximo da cabeça e deste modo foi definida uma linha directriz de configuração do esporão. Paralelamente a esta directriz foram definidos os perfis a Sul e a Norte, a 100, 300 e 500 metros de distância do esporão. No ponto definido sensivelmente a meio do esporão, foi cravado um ferro sobre o qual seria colocada a estação total em todas as campanhas, servindo de referência ao trabalho. Para assegurar o posicionamento da estação total, foram também marcados vários pontos de referência ao longo do esporão (ferros cravados ou marcas a tinta de álcool sobre as rochas). Estes pontos foram verificados e reavivados em todas as campanhas. A Figura 3 mostra de uma forma geral, a localização dos perfis transversais considerados em relação ao esporão.

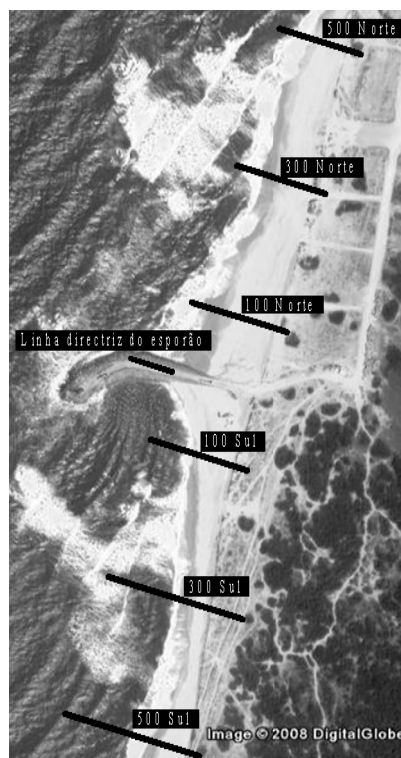


Figura 3 – Localização dos perfis transversais na praia do Areão.

Para que o registo topográfico e recolha das amostras incluisse os pontos mais baixos de cada baixa-mar em cada um dos perfis, houve necessidade de definir como prioritários os pontos junto à linha de água. Como tal, numa janela de tempo de 30 minutos antes e depois da hora prevista tentou-se realizar o registo topográfico e recolha das amostras para a cota mais baixa da linha de água. Os restantes pontos e amostras, por não estar em causa nenhuma mudança significativa nas suas características durante a campanha, foram tratados a seu tempo fora desta janela temporal. Em média, cada campanha durou 3 a 4 horas, sendo recolhidas 18 amostras de sedimentos e levantados cerca de 40 pontos topográficos.

Findo o levantamento topográfico, foi necessário geo-referenciar os pontos recolhidos de modo a referenciar todo o trabalho realizado, em termos de altimetria, com o Zero Hidrográfico (ZH). O ponto geo-referenciado mais próximo encontrava-se na ponte do Areão, a cerca de 450m do perfil 300 Norte (Figura 2 *b*). Importa desde já definir o conceito de ZH como o plano de referência a partir do qual são medidas as profundidades. A menor baixa-mar registada em longos períodos de dados, retirando ainda cerca de 20 a 30 cm, resulta na cota do ZH. Na costa Portuguesa o ZH é definido dois metros abaixo do nível médio da superfície de água do mar (Babylon, 2008).

2.1.1. Perfis transversais

Os dados topográficos recolhidos nas campanhas de campo realizados na praia do Areão possibilitaram a realização gráfica de seis perfis transversais (Figura 4). Com uma análise expedita, pode-se dizer que o comportamento da praia foi diferente a Norte e a Sul do esporão. A Norte observa-se uma praia com evolução no sentido da erosão ao passo que a Sul a praia apresenta uma tendência de acreção. Na Figura 4 *d*) o perfil obtido na campanha de Novembro encontra-se relativamente afastado da média geral nas restantes campanhas. Este facto pensa-se que se deverá ao uso de diferente metodologia aquando a realização da campanha de Novembro. Mesmo não considerando este perfil, o balanço final neste perfil ao fim de cinco meses é de acreção.

Em ambos lados do esporão nota-se uma tendência oscilatória entre as seis campanhas consecutivas, onde ocorre praticamente em todos os perfis ao longo do tempo deposição/erosão/deposição ou vice-versa. Deve-se também referir a diferença nas dimensões transversais, da praia emersa. A praia a Norte do esporão apresentou uma maior extensão média transversal correspondente a 126m, enquanto a Sul do esporão apenas atingiu os 48m. Expeditamente e através da Figura 4, pode-se também concluir que a Sul a praia apresenta uma maior inclinação da parte emersa. Outro facto apresentado é o de as cotas de topo das dunas do lado Sul aumentarem com a aproximação ao esporão. Este facto será analisado com maior detalhe no ponto 3.5.

Em termos de balanço final, pode-se concluir que em geral a praia apresenta perfis mais curtos e mais baixos na última campanha, pelo que será analisado com mais precisão no ponto 3.6. A Figura 4, mostra os seis perfis e as respectivas variações ao longo das seis campanhas.

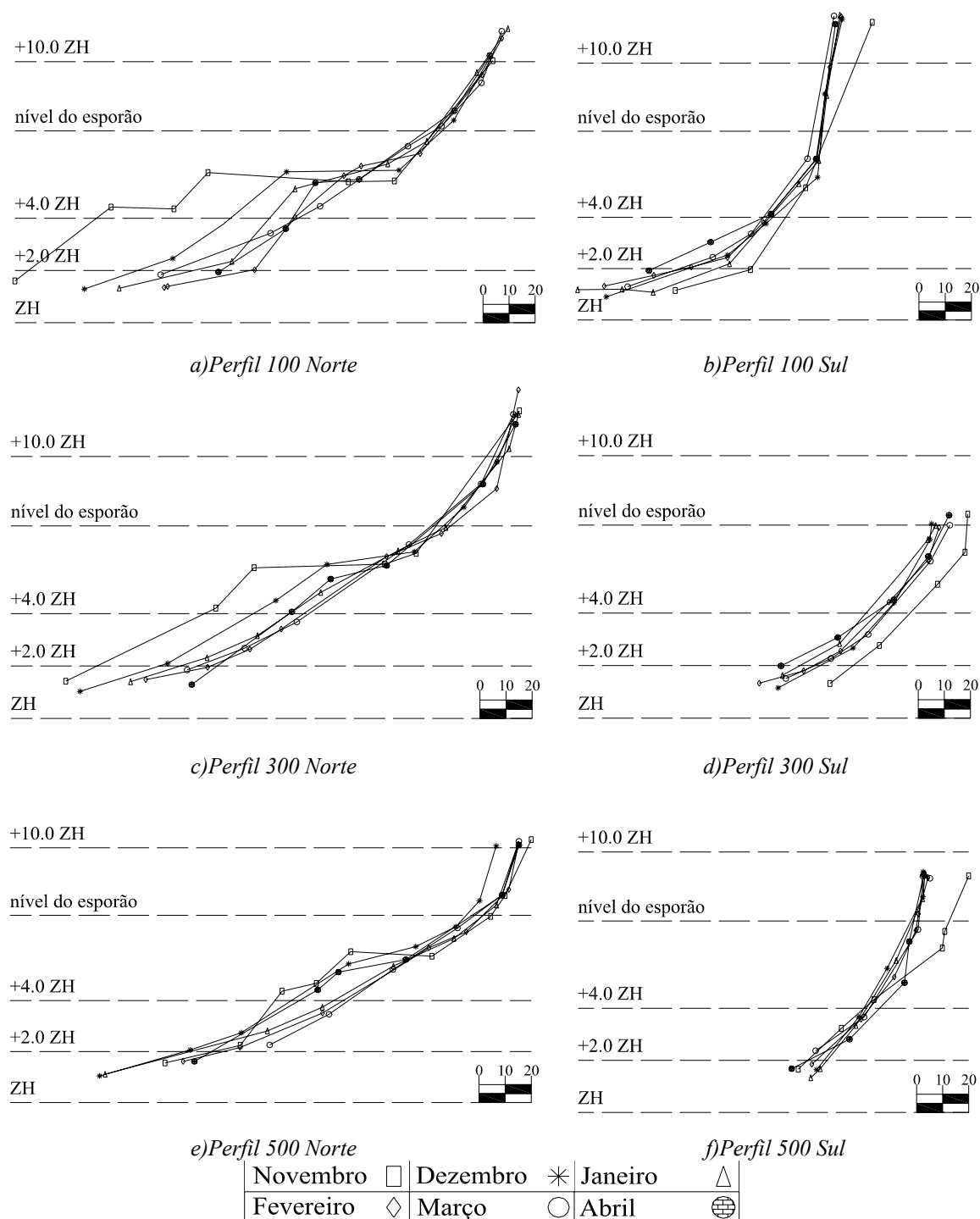
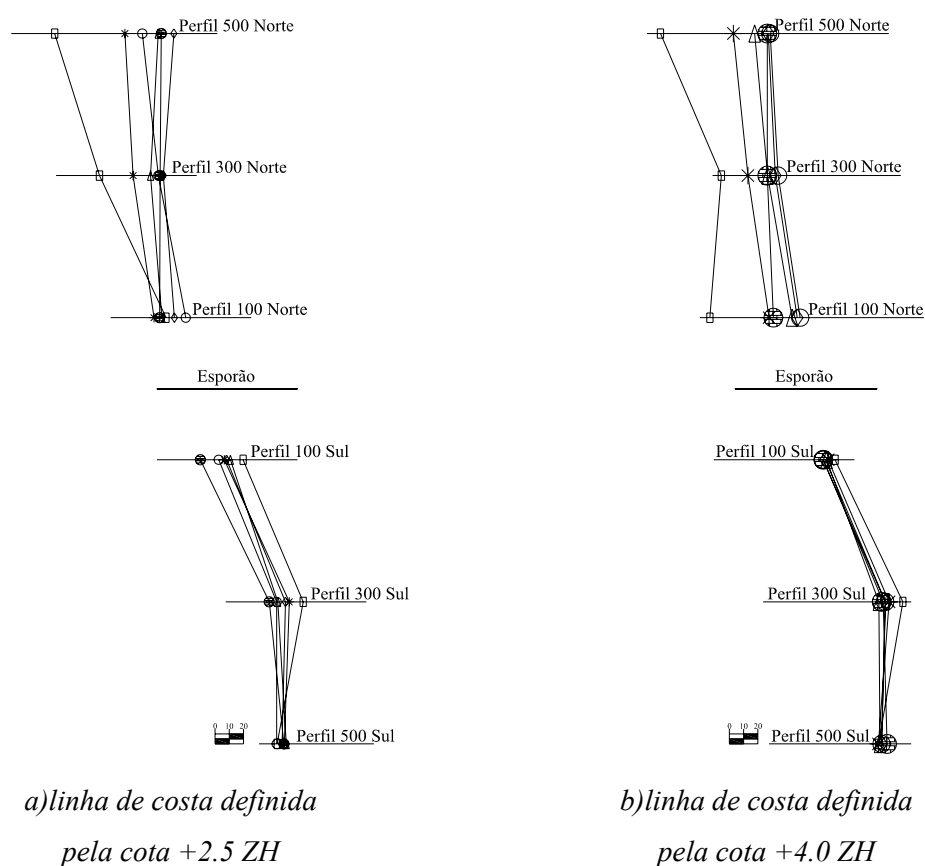


Figura 4 – Variação dos perfis transversais ao longo dos seis meses de campanhas de campo.

2.1.2. Linha de costa

A linha de costa é um conceito que caracteriza uma zona de interface dinâmica entre a superfície terrestre e o oceano, dependendo assim do transporte total de sedimentos e seu respectivo balanço sedimentar. Porque essa relação é dinâmica, essa linha é difícil de estabelecer. O mais comum é considerar a linha que corresponde a intersecção do nível médio das águas do mar (+2.0 ZH) com a superfície terrestre. No caso deste trabalho foram considerados dois panoramas possíveis para a definição da linha de costa, correspondentes à intercepção dos perfis transversais com a cota +2.5 ZH e à intercepção dos perfis transversais com a cota +4.0 ZH. A Figura 5 mostra a evolução da linha de costa definida pela cota +2.5 ZH, ao longo das seis campanhas.



Novembro	□	Dezembro	✱	Janeiro	△
Fevereiro	◇	Março	○	Abril	⊗

Figura 5 – Evolução da linha de costa ao longo das seis campanhas.

A escolha da cota +2.5 ZH para definição da linha de costa deveu-se à tentativa de qualificar a linha de costa pela cota mais baixa presente em todos os perfis, visto que dois perfis no mês de Março não interceptam a cota +2.0 ZH. A escolha da cota +4.0 ZH deve-se a esta definir o limite superior do

nível das águas do mar em situação de preia-mar. É de salientar desde já que se nota uma maior consistência a Sul do esporão relativamente a variação da linha de costa definida pela cota +2.5 ZH (Figura 5 a)). Nota-se também que o ponto que define a linha de costa pela cota +4.0 ZH no perfil 100 Norte em Novembro encontra-se, relativamente às restantes campanhas, mais distante da face dunar. O elevado nível de depósito observado na primeira campanha em Novembro no perfil 100 Norte, relativamente aos restantes perfis nas diversas campanhas, explica este facto.

Através do traçado em planta da linha de costa, foi possível o cálculo do ângulo da linha de costa com o Norte (ângulos medidos no sentido horário). A Norte, para o perfil da extremidade 500, o ângulo da linha de costa com o Norte é definido pela recta que intersecta o perfil 500 com o perfil 300, na cota +2.5 ZH ou +4.0 ZH. O ângulo do perfil intermédio 300, é definido pela recta que intersecta os perfis 500 e 100, à cota +2.5 ZH ou +4.0 ZH. Para o perfil da extremidade 100, o ângulo é novamente definido pela recta que intersecta os perfis 300 e 100, na cota pretendida. A Sul a metodologia é semelhante, o perfil da extremidade 100 é definido angularmente pela intersecção de uma recta com os perfis 100 e 300, à cota +2.5 ZH ou +4.0 ZH. Para o perfil 300, perfil intermédio, o ângulo com o Norte é definido pela recta que intersecta os perfis 100 e 500, à cota pretendida. Por fim, para o perfil 500, o ângulo com o Norte define-se pela recta que intersecta os perfis 300 e 500 à cota +2.5 ZH ou +4.0 ZH. Os resultados do cálculo destes ângulos em cada perfil, definidos pela linha de costa à cota +2.5 ZH e +4.0 ZH são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Ângulos da linha de costa com o Norte (rumo), expresso em graus.

		+2.5 ZH						+4.0 ZH					
	Perfil	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
Norte	500	351	358	2	2	357	360	348	357	357	359	358	360
	300	349	357	360	360	356	360	355	356	356	357	357	359
	100	347	356	358	358	354	360	2	356	355	356	356	359
Sul	100	348	347	351	348	348	346	347	348	350	348	348	348
	300	357	354	354	354	354	352	356	355	355	354	354	354
	500	5	1	358	1	360	357	5	2	0	359	1	359

A Tabela 2, permite verificar que em geral as variações não são significativas. Nota-se apenas uma variação maior no perfil 100 Norte no mês de Novembro. A média de variações da linha costa considerando a cota +2.5ZH ou a cota +4.0ZH é de 1.94° pelo que as linhas de costa em ambas as situações podem ser consideradas equivalentes. Assim, será utilizada como referência no presente trabalho a cota +2.5 ZH para definição da linha de costa.

2.2. Análise granulométrica

Segundo Rijn *et al.* (2001), Dohmen-Janssen em 1999 mostrou que a dimensão dos sedimentos têm grande importância no seu transporte sedimentar sob condições calmas de agitação marítima. Ribberink e Al-Salem mostraram em 1994 que métodos de previsão de transporte sedimentar dão resultados bastante razoáveis para condições calmas de agitação marítima desde que o grão dos sedimentos seja maior que 0.2 mm. Foi também mostrado por Ribberink e Chen em 1993 que sedimentos com diâmetro mediano (d_{50}) menores que 0.13 mm resultam em mudanças de direcção no fluxo de transporte sedimentar (Rijn *et al.*, 2001). Embora estes comentários realcem a importância da análise da dimensão dos sedimentos, tem sido dada pouca atenção para a investigação do efeito do tamanho do grão dos sedimentos no seu transporte. Quase todos os modelos disponíveis assumem a uniformidade de todos os sedimentos presentes, o que significa que toda a praia é caracterizada por um único tamanho de sedimento e toda a granulometria existente é esquecida (Dibajnia & Watanabe, 1996 e Cloin, 1998, segundo Rijn *et al.*, 2001).

No presente trabalho, foram recolhidas três amostras sedimentares por perfil, junto à linha de água, sensivelmente a meio do perfil e junto ao pé da duna. A recolha das amostras foi realizada com os equipamentos cedidos pelo Departamento de Engenharia Civil (colher de concha para a recolha dos sedimentos, sacos plásticos de tamanho variável e estacas de madeira para marcação de perfis). Em cada amostra recolheu-se de cerca de 1.5Kg de sedimentos com a colher aproximadamente na vertical (Figura 6 a)). A análise granulométrica foi realizada no laboratório do Departamento de Engenharia Civil tendo por base uma escala de peneiros ASTM (Tabela 3), em que foi desprezado o peneiro com maior abertura, visto não reter o tipo de sedimentos recolhido. A balança utilizada na pesagem dos sedimentos operava com precisão de 0.005g.

Tabela 3 – Série de peneiros usados para o ensaio granulométrico das amostras

Peneiro nº	1 1/2"	3/4"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº16	Nº30	Nº50	Nº100	Nº200
Abertura [mm]	38.1	19	9.51	4.76	2.38	1.19	0.595	0.297	0.149	0.075

Após a recolha das amostras de cada campanha, estas foram devidamente identificadas e colocadas numa estufa à temperatura de 65° durante cerca de 36 horas. Finda a secagem foram realizadas, com cerca de 300g de sedimentos, as análises granulométricas de cada amostra. Além da amostra de cada ponto, realizaram-se amostras compostas para caracterizar cada perfil (100g de cada amostra dos pontos pertencentes ao respectivo perfil), para caracterizar cada extensão a Norte e Sul do esporão (cada amostra dos 9 pontos contribuiu com 33.3g) e para o total da praia (16.7g de cada

amostra recolhida nos 18 pontos). Deste modo, foi possível fazer a comparação da granulometria em cada perfil transversal, ou, a nível mais geral, a comparação das amostras combinadas ao longo do espaço e das seis campanhas. A Figura 6 mostra alguns dos equipamentos utilizados durante a recolha de sedimentos e aquando a realização dos ensaios para as análises granulométricas.



a) recolha de amostra de sedimentos durante a campanha de Abril



b) estufa utilizada na secagem das amostras



c) série de peneiros na mesa vibratória



d) pesagem de uma amostra

Figura 6 – Equipamentos utilizados no laboratório.

Após a realização das análises granulométricas foi possível a comparação dos diâmetros medianos, obtidos pelas curvas de distribuição granulométrica de cada amostra (Figura 7).

Nota-se, em primeiro lugar, a maior variação da granulometria junto da linha de água, sujeita à maior exposição do clima de agitação. Existem três casos evidentes em que a granulometria é mais grosseira, com um resultado do diâmetro mediano bem superior à média obtida para a totalidade das análises. Estas situações verificaram-se na extensão Sul do esporão em Novembro, nos perfis 100 (a meio do perfil) e 500 (na linha de água) e em Janeiro no perfil 500 (na linha de água). A razão destes casos localizados não é evidente, sendo que no caso do perfil 500, em Janeiro, verificou-se que a extensão afectada com esta granulometria aquando da recolha era relativamente pequena. A nível geral, a dimensão dos sedimentos apresenta uma tendência crescente para a uniformização à medida

que se aproxima do pé da duna, nas seis campanhas. Este facto estará relacionado com o limite do transporte sedimentar por acção do mar, que será estudado no ponto 3.6.

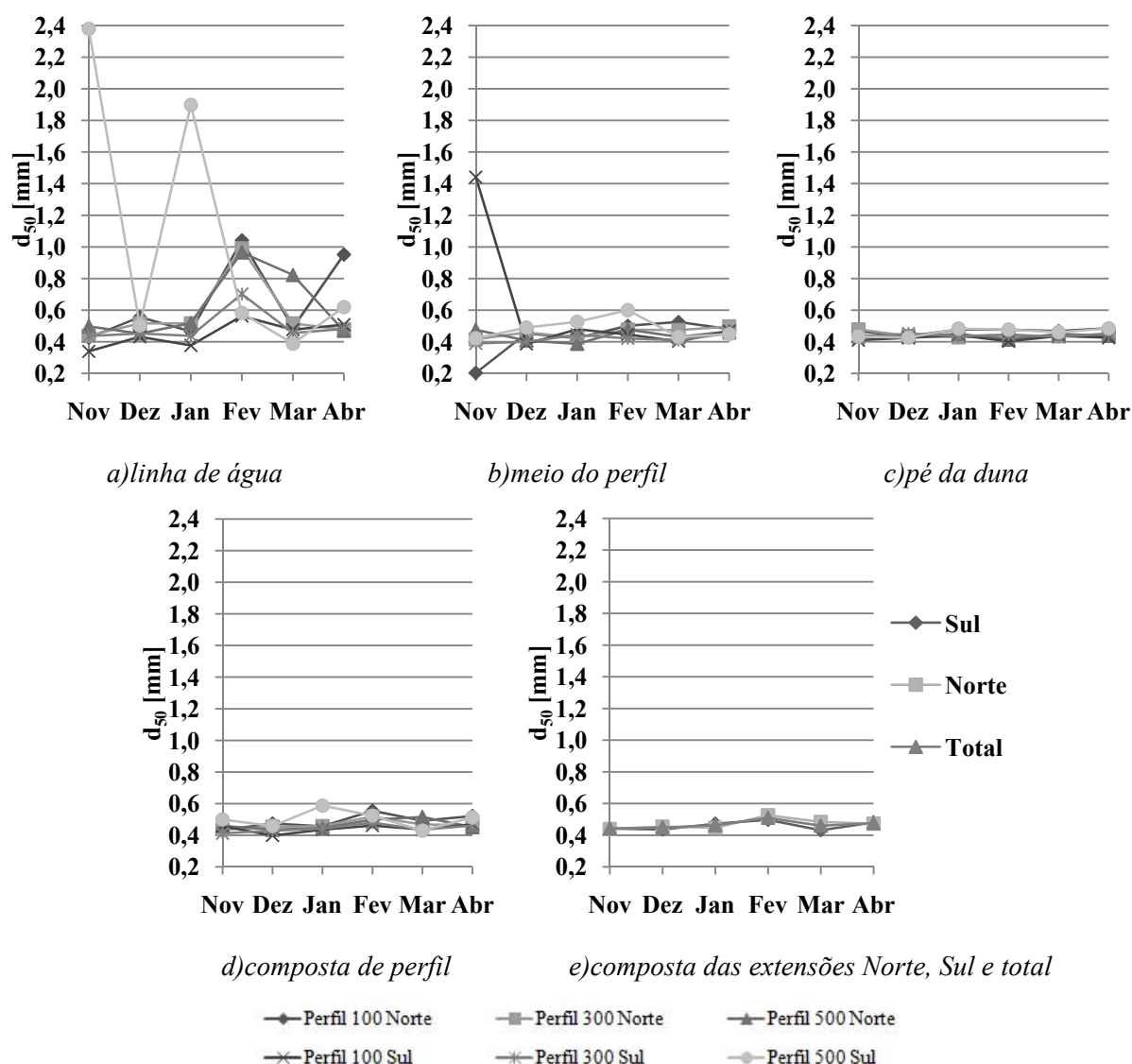


Figura 7 – Diâmetros medianos.

Nas amostras compostas, tanto os perfis como as extensões Norte e Sul do esporão ou a praia na sua totalidade, apresentam resultados bastante constantes dentro de cada mês. Em termos temporais, nota-se que existe alguma oscilação na dimensão média da granulometria, sendo o seu valor máximo em Fevereiro e o valor mínimo em Novembro no caso da praia na sua totalidade, e, Janeiro e Dezembro no caso das amostras compostas de perfil (gráficos *d*) e *e*) da Figura 7).

Rijn *et al.* (2001) apresentam uma proposta de caracterização do comportamento da granulometria ao longo de um perfil transversal numa praia na Holanda. A proposta está em forma gráfica na Figura 8.

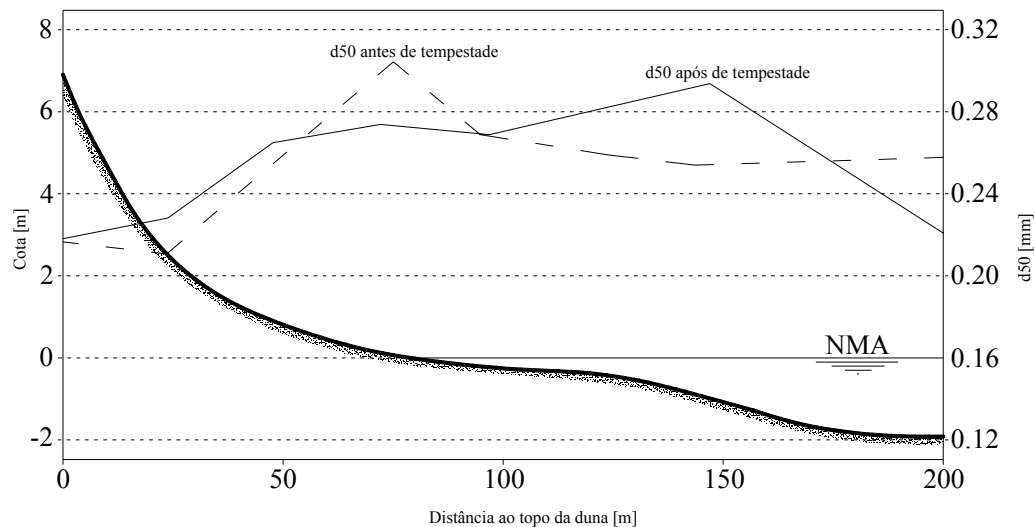


Figura 8 – Comportamento granulométrico numa praia antes e após uma tempestade (adaptado de Rijn *et al.*, 2001).

Em termos de comparação com o trabalho desenvolvido na praia do Areão, apenas se pode considerar os resultados de Rijn *et al.* (2001) na parte emersa do perfil. Qualitativamente verifica-se a tendência crescente das granulometrias à medida que se aproxima da linha de água. A variação da granulometria, ao longo do perfil transversal, observada no trabalho desenvolvido na praia do Areão regista semelhanças com a variação em situação posterior a tempestade definida por Rijn *et al.* (2001). Em termos quantitativos, as granulometrias observadas no presente trabalho são superiores aos registos de Rijn *et al.* (2001) da Figura 8, não se aproximando assim de nenhuma das duas situações por eles definidas.

2.3. Caracterização do clima de agitação

Quando se refere a agitação marítima, as propriedades que mais interesse apresentam na tentativa de caracterizar ou quantificar os fenómenos costeiros são principalmente a altura, a direcção e o período de onda.

As ondas representam a principal entrada de energia para os sistemas de praias e a variabilidade desses sistemas fica, portanto, directamente dependente da variabilidade do próprio clima de ondas (Wright & Short (1984) segundo Martins *et al.*, 2004).

Importa perceber como as ondas são geradas. As ondas oceânicas são formadas através de perturbações da superfície líquida, induzidas principalmente por ventos de tempestades. Sendo assim, energia e movimento são transmitidos para a massa de água na direcção de propagação da força perturbadora (Martins *et al.*, 2004). Durante a sua propagação existem algumas alterações às

características das ondas em função de variados fenómenos como o empolamento, a difracção ou a refracção.

Também é determinante para a altura das ondas o *fetch*, ou seja, a extensão onde se faz sentir o vento que as gera, porque quanto maior for essa extensão, maior a distância durante a qual as ondas estão a continuar a ser alimentadas, isto é, a receber energia do vento, e portanto mais elas se desenvolvem em altura (Geofísica, 2007). Em suma, quanto maior for a área de influência do oceano/mar maior será o *fetch* e maior poderá ser o clima de agitação gerado.

2.3.1. Clima de agitação ao largo

Para este trabalho, o clima de agitação marítimo foi obtido pelo Instituto Hidrográfico através de uma bóia ondógrafo existente ao largo de Leixões. Utilizou-se esta bóia porque é a que se localiza mais próximo da praia em questão.

Os dados registados por esta bóia são a data e hora do registo (a bóia fornece registos de 10 em 10 minutos), a altura significativa, a altura máxima, o período de onda médio e máximo, a direcção de onda e a temperatura da água. Apenas foram utilizados os dados referentes à altura de onda significativa, ao período médio de onda e à direcção. A Tabela 4 mostra o número de dados registados entre Novembro de 2007 e Abril de 2008 e a percentagem de dados registados, ou seja, a relação entre o número de registos obtidos e aqueles que poderiam ter sido obtidos se se conseguissem as condições de aquisição de todos os dados em cada período antecedente às campanhas.

Tabela 4 – Número de registos e relação com o número máximo de registos mensal.

	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
Nr. de registos	1461	1824	2577	2943	3130	3010
Dados registados	78%	47%	64%	62%	78%	77%

Para cada campanha a base de dados compreende todos os registos entre o primeiro registo do dia seguinte à campanha anterior e o último registo do dia da campanha considerada. A percentagem média total do número de registos é de 68% num total de 14945 registos em seis meses. O número de registos em Dezembro e Novembro são menores. Em Dezembro este facto sucede, entre outras causas, devido a uma inactividade da página de internet do Instituto Hidrográfico. Em Novembro este facto justifica-se devido ao baixo número de dias incluídos no registo (os registos iniciaram-se a 31 de Outubro e decorreram até 13 de Novembro, inclusive) embora este seja o mais alto em nível percentual em relação ao número máximo de registos. As percentagens de dados registados são calculadas admitindo um registo sistemático da bóia de 10 em 10 minutos, o que por vezes não

sucedeu. De grosso modo, os dados recolhidos correspondem a cerca de 90% dos dados fornecidos pelo Instituto Hidrográfico no período entre Novembro e Abril.

2.3.1.1. Altura de onda

A altura de onda, define-se como sendo a distância entre o ponto mais baixo, cava da onda, e o ponto mais alto, crista da onda. Comprimento de onda define-se como sendo a distância entre dois pontos semelhantes (cavas ou cristas) consecutivos (Costal Services Center, 2008). A Figura 9 ilustra expeditamente estes conceitos.

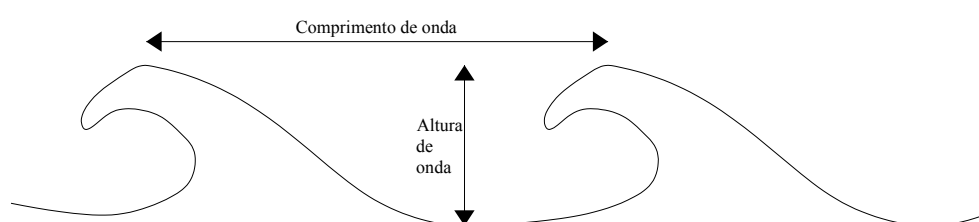


Figura 9 – Definição da altura de onda e comprimento de onda.

A origem duma onda pode ser altamente variável, produzindo flutuações regulares na altura de onda, em períodos que podem ir de horas a épocas sazonais. As influências naturais na altura de onda incluem toda a topografia que afecta o empolamento da onda, a refacção, a difracção e a rebentação (Short, 1999).

A altura de onda considerada para o presente trabalho foi a altura significativa e define-se como sendo a média do terço mais alto das alturas de onda que são registadas durante um período de determinada duração (Instituto Hidrográfico, 2008).

Na Tabela 5 apresentam-se as médias das alturas significativas registadas nos períodos que antecederam cada uma das campanhas.

Tabela 5 – *Altura média de onda (m) por campanha.*

	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
H₀	0.86	2.32	2.82	2.74	2.25	2.28

As alturas de onda médias por campanha podem-se considerar bastante semelhantes, com um valor médio total de 2.21m. O mês de Novembro apresenta uma média mais baixa, mas deve ser lembrado que esta campanha é caracterizada por um menor número de registos associado. Segundo Loureiro (2006) a média de alturas significativas do mês de Novembro, pela mesma bóia em Leixões, nos anos de 2001, 2002, 2003 e 2004 foi de 2.0, 3.9, 3.0 e 1.5m respectivamente.

Para uma melhor interpretação dos resultados e definição de cenários de agitação, as ondas foram divididas em cinco grupos distintos de alturas. Para um primeiro grupo escolheram-se ondas com alturas menores do que um metro (≤ 1), no segundo alturas entre um e dois metros ($]1,2]$), no terceiro grupo, alturas de onda entre dois e três metros ($]2,3]$), no quarto grupo alturas de onda entre três e seis metros ($]3,6]$) e por fim, o quinto grupo, para ondas com alturas superiores a seis metros (>6). Com esta divisão pretendeu-se ter uma distinção a nível do cálculo de transporte de sedimentos, visto as diferentes alturas de onda representarem diferentes níveis energéticos, mas também diferentes frequências de ocorrências. A divisão por grupos de onda permite também a comparação de climas de agitação apresentados por outros autores (ver ponto 2.3.1.4.).

A Tabela 6 representa as frequências de ocorrências dos grupos de onda considerados ao longo do período estudado.

Tabela 6 – *Frequências de ocorrência (%) de cada grupo de onda por campanha.*

	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Média
≤ 1	78.5	24.2	2.6	1.1	13.4	10.0	16.1
$]1,2]$	21.5	29.4	22.5	26.3	37.4	33.9	29.4
$]2,3]$	0.0	13.3	40.8	34.1	29.5	31.5	27.9
$]3,6]$	0.0	29.4	32.0	38.3	17.0	24.6	25.2
>6	0.0	3.7	2.1	0.2	2.8	0.0	1.4

As frequências de ocorrência dos respectivos grupos de onda, como se poderá ver no Capítulo 4, resultam num impacto directo sobre o transporte sedimentar. Assim, pode-se descortinar que Novembro foi a campanha com maior frequência de ocorrência de alturas de ondas menores do que 1 metro, Dezembro obteve a maior frequência de ocorrência de ondas superiores a 6 metros, em Janeiro o grupo de onda com alturas entre 2 e 3 metros obteve maior expressão, em Fevereiro é o grupo de onda com alturas entre 3 e 6 que atinge a maior frequência de ocorrência, em Março registam-se alturas de onda entre 1 e 2 metros com maior frequência de ocorrência e, por fim, em Abril, o mês onde a dispersão é menor e não ocorrem ondas superiores a seis metros, a maior frequência de ocorrência pertence ao grupo de ondas com alturas entre 1 e 2 metros.

Foi efectuada também a análise das alturas de onda em função da sua direcção de proveniência, realizando-se o gráfico da Figura 10. Os grupos de onda associados às diferentes direcções de proveniência permitem posteriormente uma maior e mais correcta análise do transporte sedimentar.

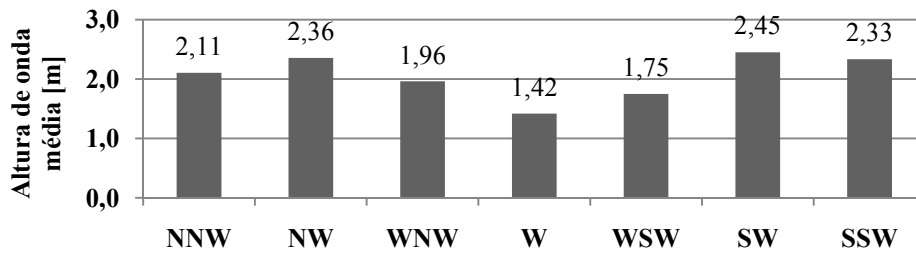


Figura 10 – Média das alturas de onda em função da direcção de proveniência.

Nota-se uma clara tendência decrescente na altura de onda à medida que se aproxima da direcção de origem Oeste (W). As maiores alturas de onda são atingidas pelas direcções de proveniência Noroeste (NW) e Sudoeste (SW). A Figura 11, mostra de uma forma expedita a variação da altura das ondas em função da direcção de origem.

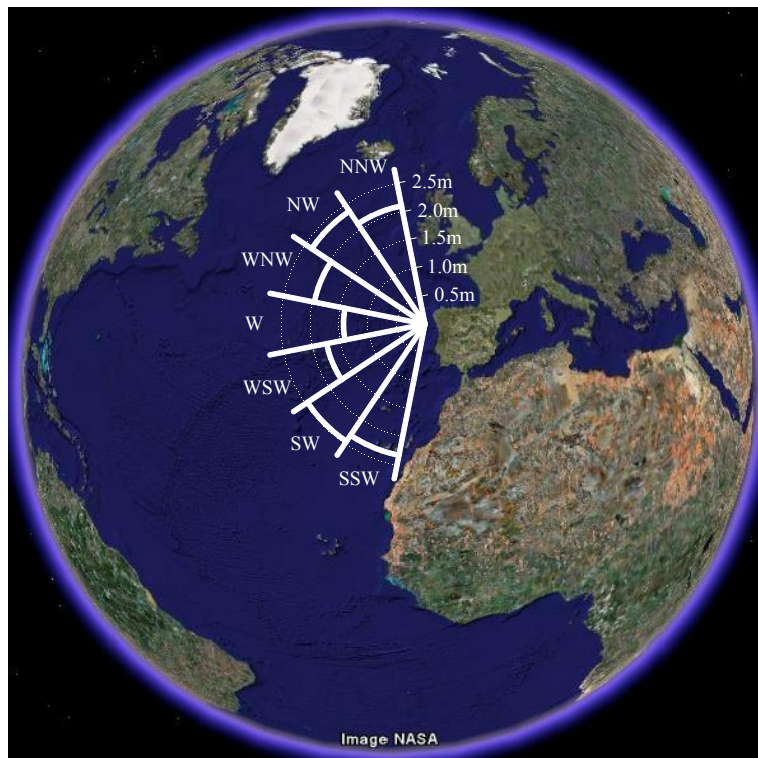


Figura 11 – Alturas de onda em função da direcção (período de Nov. 2007 a Abr. 2008).

Pela definição de *fetch* seria de esperar alturas de onda com origem em W superiores às restantes, o que não se verificou. Pensa-se que possivelmente as ilhas dos Açores e Madeira possam ter promovido uma barreira que resultou na diminuição de extensão marítima sem obstáculos e posterior diminuição da altura de onda. Deste modo, seria possível explicar o baixo registo de ondas de maior altura nas direcções de proveniência W e Oés-Sudoeste (WSW).

2.3.1.2. Período de onda

O período de onda é o espaço de tempo decorrido entre um ciclo completo de uma onda, por exemplo, entre duas cristas de onda consecutivas.

O período de onda não é influenciado pelo empolamento. Dificilmente se consegue modificar o período de onda senão removendo-o totalmente em recifes artificiais ou com recurso a outras estruturas (Short, 1999). Neste trabalho o período de onda na rebentação foi considerado equivalente ao registado pela bóia ondógrafo ao largo.

Por ser difícil encontrar previsões correctas do período de onda, existem algumas propostas de previsão do período de onda em função da altura de onda, embora com elevada flutuação de resultados. Coelho (2005) apresentou a seguinte proposta:

$$T = 1.21 \times H_s + 6.92 \quad (1)$$

em que: T – período de onda;
H_s – altura de onda significativa.

O mesmo autor apresentou uma outra alternativa, com relação logarítmica entre o período e a altura de onda:

$$T = 2.74 \times \ln(H_s) + 7.92 \quad (2)$$

Outros autores, propõem também aproximações como Soulsby, Tucker e LNEC. Estas, apesar de se aproximarem entre si, estimam períodos de onda bastante inferiores aos verificados na realidade da costa ocidental portuguesa. Assim, as equações 3, 4 e 5 expressam as relações propostas por Soulsby, Tucker e LNEC respectivamente (Coelho, 2005).

$$T = \left(\frac{H_s}{g} \right)^{1/2} \quad (3)$$

$$T = \sqrt{\frac{40 \times \pi}{g} \times H_s} = 3.50 \times \sqrt{H_s} \quad (4)$$

$$T = 1.03 \times H_s + 5.2 \quad (5)$$

em que: g – aceleração gravítica.

Embora as cinco propostas apresentadas permitissem um cálculo aproximado do período de onda, estas não serão utilizadas, visto a base de dados recolhida para este trabalho conter o registo do período de onda ao largo. A Tabela 7 apresenta a média mensal dos períodos de onda ao largo registados ao longo das campanhas. Em termos gerais, pode-se dizer que os valores médios mensais aproximam-se bastante do período médio das seis campanhas, 8.3s.

Tabela 7 – Média dos períodos de onda por mês.

	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
T (s)	6.8	7.8	9.0	8.8	8.2	7.6

Analizando os períodos de onda por cada grupo de onda definido, verifica-se uma relação directa com a altura de onda. Como se pode observar na Figura 12, o período de onda aumenta em função da altura de onda.

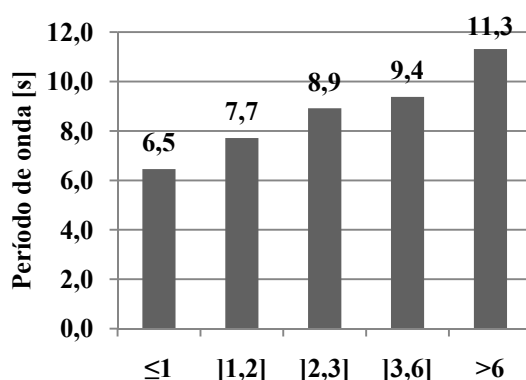


Figura 12 – Períodos de onda por grupo de onda.

Este facto é observado em todas as campanhas para todos os grupos de onda. Assim, na Figura 13, observa-se a representação gráfica das várias propostas apresentadas para determinação do período de onda em função da altura de onda média respeitante a cada campanha (Tabela 5) e também os períodos de onda médios registados no espaço de tempo estudado.

Nota-se uma clara aproximação do período de onda registado na base de dados deste trabalho com a proposta do LNEC (expressão 5). A proposta de Soulsby (expressão 3) é notoriamente a mais díspar em relação às restantes propostas e ao presente trabalho.

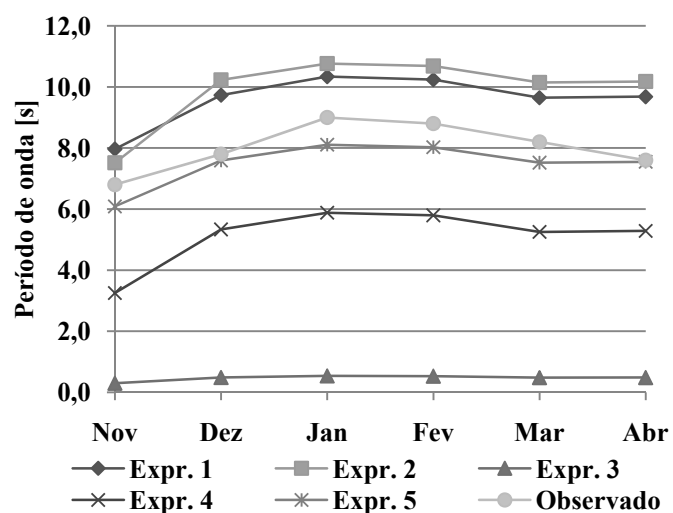


Figura 13 – Comparação entre as propostas de cálculo do período de onda.

Realizou-se então, recorrendo às médias de cada grupo de onda, uma proposta para obtenção do período de onda em função da altura de onda.

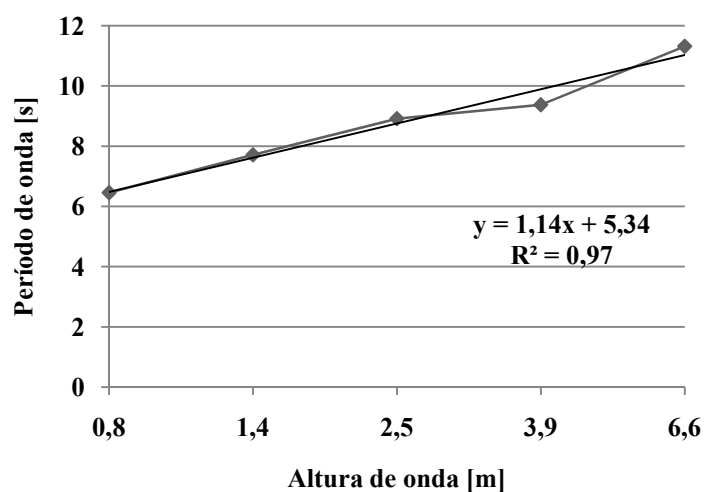


Figura 14 – Proposta de cálculo do período de onda em função da altura de onda.

Em análise ao apresentado na Figura 14, propõe-se a expressão 6 para cálculo do período de onda em função da altura de onda.

$$T = 1.14 \times H_s + 5.34 \quad (6)$$

Refira-se que a expressão apresentada adequa-se de forma bastante razoável à base de dados referente ao período de onda deste trabalho. Deve-se referir que esta proposta de cálculo linear do

período de onda em função da altura de onda, em termos resultados médios, encontra-se entre as propostas do LNEC (expressão 5) e a proposta de Coelho (2005), expressão 1. Embora a proposta não seja posteriormente usada no presente trabalho, será objecto de comparação no ponto 2.3.1.4.

2.3.1.3. Direcção da onda

Outra característica importante das ondas é a direcção da sua proveniência. A direcção das ondas tem um impacto directo no transporte sedimentar longitudinal de uma praia. Uma configuração de costa que apresente um desvio relativamente ao seu traçado de equilíbrio tende a modificar a sua forma para convergir com esse traçado, minimizando o transporte longitudinal. Não existindo alimentação sedimentar, isto significa que a linha de costa pode alterar a sua orientação até se posicionar paralelamente à direcção das cristas das ondas incidentes (Pereira, 2004).

Em águas pouco profundas, a direcção das ondas é modificada pela refacção da onda. Este processo é intensificado nas zonas abrigadas de corais e em recifes naturais rochosos, resultando em costas com maior deposição nas zonas abrigadas. Também pode ser induzido por estruturas construídas na zona de rebentação ou na criação de zonas de sombra (Johnson, 1997 e Dingler, 1982, segundo Short, 1999). Todos os factores que influenciam as características de onda levam a que esta diminua a sua altura e/ou modifique a sua direcção resultando em costas com sistemas de menor energia e de maior deposição ou heterogeneidade (Short, 1999).

A direcção da onda neste trabalho foi obtida através de uma média ponderada dos dados recolhidos. Foram definidos 16 quadrantes, espaçadas entre si por 22.5° e procedeu-se à contagem das ondas em cada um destes quadrantes e em cada um dos grupos de ondas considerados. O ângulo apresentado na Figura 15 é medido no sentido horário com origem no Norte (N).

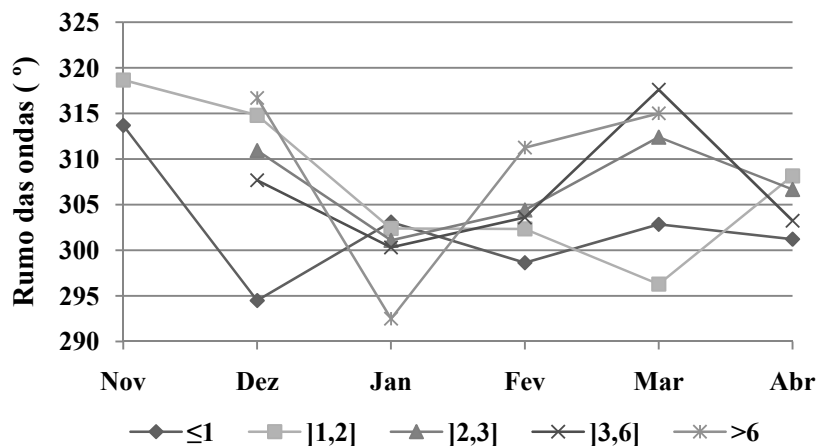


Figura 15 – Rumo das ondas ao largo, ao longo do tempo e em função dos grupos de altura de ondas.

Pelo gráfico apresentado na Figura 15 verifica-se que no mês de Novembro não foram registadas ondas com alturas significativas superiores a 2m e em Abril não foram registadas alturas de onda significativas superiores a 6 metros. Nota-se que não existe uma definição clara da relação da direcção e altura de onda, por exemplo, com as alturas de onda superiores a 6m variarem, de grosso modo, entre os 290° e os 315°. Existe uma maior uniformidade da direcção de proveniência das ondas no mês de Janeiro, em que apenas as ondas superiores a 6m apresentam alguma disparidade.

No gráfico da Figura 16 é de salientar que se nota uma predominância das ondas provenientes dos quadrantes W, Oés-Noroeste (WNW), NW e Nor-Noroeste (NNW), com cerca de 96% das ocorrências. Maioritariamente as direcções de proveniência de onda encontram-se na gama de valores entre 295° e 315° o que corresponde às direcções WNW e NW (esta última direcção com cerca de 55% das frequências totais).

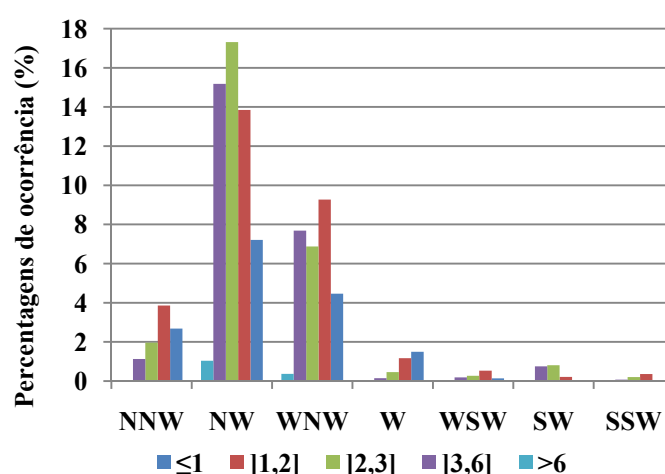


Figura 16– Gráfico de frequências totais em função da direcção e grupo de onda.

Definida a orientação da onda por grupo de altura de onda e definida a orientação da linha de costa em cada perfil, pode-se calcular o ângulo relativo entre a crista da onda e a linha de costa (α_0). Como este ângulo depende da relação entre a direcção da onda, constante em cada grupo de onda, e do ângulo da linha de costa que é variável ao longo da praia, obtiveram-se α_0 diferentes para cada perfil, num total de 180 panoramas possíveis (Anexo A). Em termos médios por grupo de onda, α_0 pode ser definido segundo a Tabela 8.

Tabela 8 – Ângulo médio entre a crista da onda ao largo e a linha de costa.

	≤ 1	$[1,2]$	$[2,3]$	$[3,6]$	>6
α_0	36.8	41.5	41.0	40.3	42.7

2.3.1.4. Comparação com registos anteriores

Coelho (2005) realizou um estudo em que os dados utilizados para o clima de agitação foram os da bóia de Leixões. A vasta base de dados registada para esse estudo, entre 1981 e 2003, serve de comparação para os dados registados neste trabalho, entre Novembro de 2007 e Abril de 2008. Foram também comparados os registos obtidos por Loureiro (2006) referentes ao período de estudo entre Maio de 2001 e Dezembro de 2004.

As frequências de ocorrência dos grupos de ondas definidos por Coelho (2005) foram apresentadas na Figura 17.

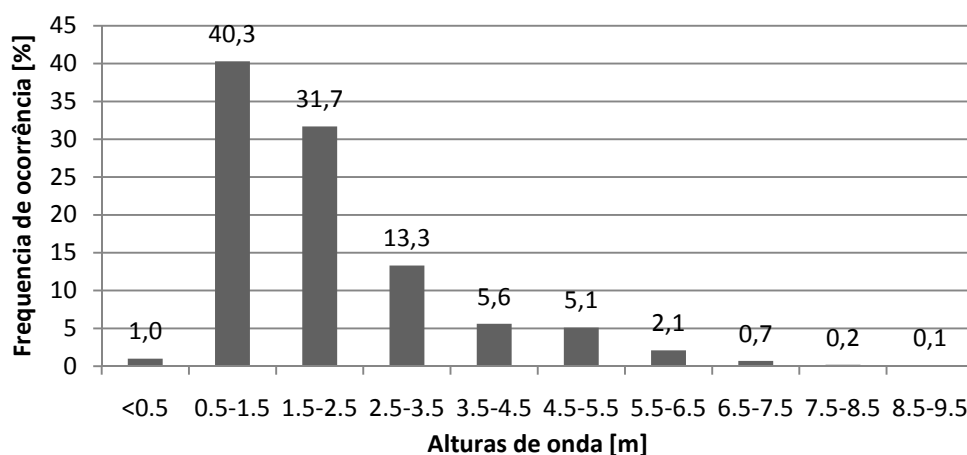


Figura 17 – Frequências de ocorrência de alturas de onda, entre 1981 e 2003 (adaptado de Coelho, 2005).

A distribuição da frequência de ocorrência pelos grupos de onda usada por Coelho (2005) realça sobretudo o grupo de onda de 0.5 a 1.5m, com cerca de 40% das ocorrências.

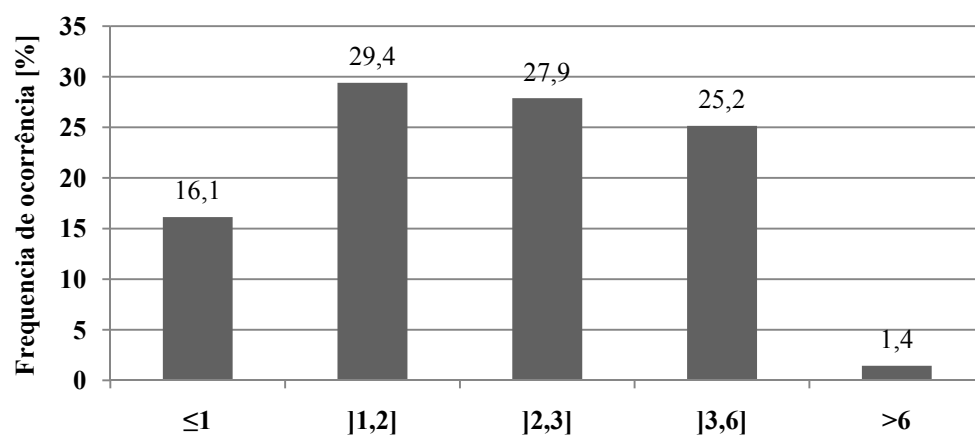


Figura 18 – Frequências de ocorrência de alturas de onda por grupo de onda (Nov. 2007 e Abr. 2008).

No caso deste trabalho, Figura 18, não existe um grupo de onda destacado em termos de frequência de ocorrência. Verifica-se uma tendência equitativa para as ondas entre]1,2],]2,3],]3,6] metros de altura com valores percentuais de cerca de 29%, 28% e 25% respectivamente.

Nos dados de Coelho (2005), as alturas de onda até 3.5m de altura atingem cerca de 86% das ocorrências, enquanto na base de dados do presente trabalho as alturas de onda até aos 3m ficam-se pelos 73% das ocorrências.

As alturas de onda em função da sua direcção registam-se valores semelhantes em ambos os trabalhos, com a direcção dominante a coincidir, NW, e com as direcções de NW, WNW a contribuir com cerca de 76%, caso de Coelho (2005), e 83% no caso do presente trabalho.

A Figura 19 apresenta as referidas frequências de ocorrência das ondas, em função da direcção de proveniência.

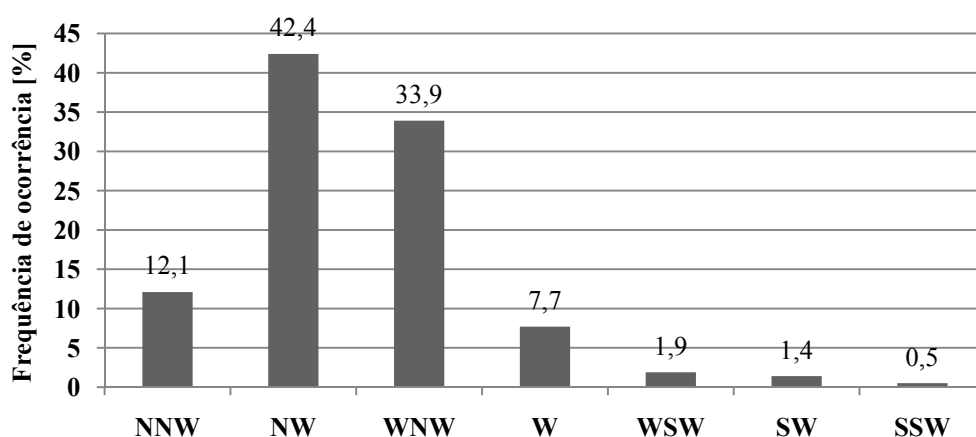


Figura 19 – Frequências de ocorrência de direcção de onda por quadrante, entre 1981 e 2003 (adaptado de Coelho, 2005).

Loureiro (2006) registou entre Maio de 2001 e Dezembro de 2004 períodos de onda e alturas de onda significativas fornecidos pela bóia ondógrafo de Leixões. Pelas médias mensais das alturas de onda significativas, foi possível realizar um cálculo do período de onda usando a expressão 6, proposta no presente trabalho. Assim, o gráfico presente na Figura 20, compara os períodos de onda registados com os calculados.

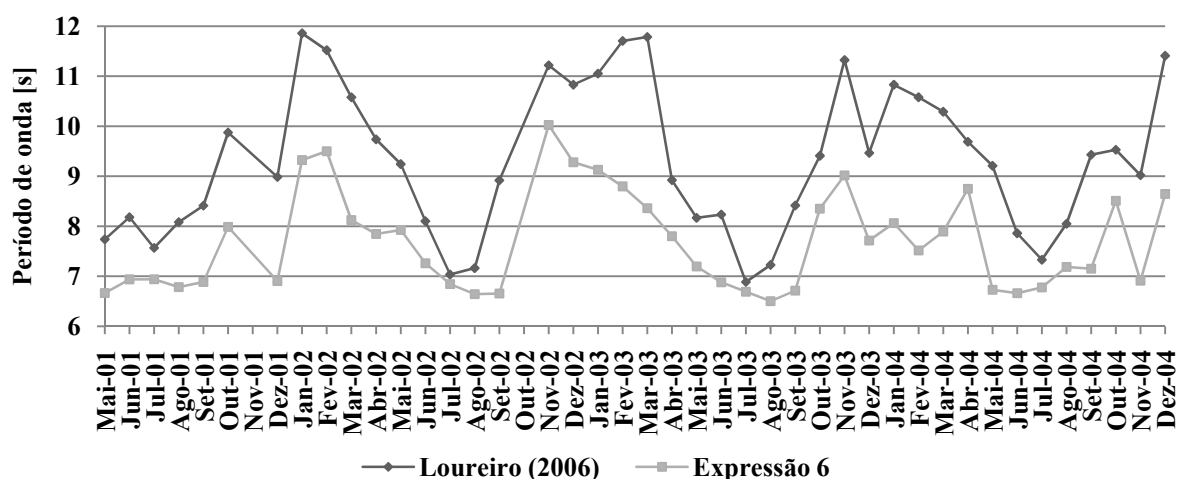


Figura 20 – Períodos de onda registados por Loureiro (2006) entre Mai. de 2001 e Dez. 2004 e proposta de cálculo do período de onda em função da altura de onda (expressão 6).

Nota-se que pela expressão 6, na Figura 20, os períodos de onda calculados são sempre inferiores aos registados por Loureiro (2006). Em Março de 2003, a diferença entre o registado e o calculado é de 3.42s, sendo este o resultado mais dispar da proposta. Em média, os períodos de onda obtidos pela expressão 6, apresentam-se mais baixos aos registados em 1.62s.

2.3.2. Propagação de onda

Durante a propagação das ondas, transformações importantes vão ocorrendo, antes destas alcançarem a linha de costa. Entre estas transformações, relacionadas com a variação batimétrica, o ângulo de incidência das ondas e a irregularidade geomorfológica da região costeira, podem citar-se como principais o empolamento, a refração e a difração das ondas (Brown, 1999, segundo Marcondes, 2005). De seguida faz-se uma breve referência a cada um destes fenómenos.

2.3.2.1. Refracção

A refração pode definir-se como sendo a tendência da crista das ondas para se alinharem paralelamente às curvas de nível da batimetria da costa. A Figura 21 mostra a refração das ondas em que na parte esquerda da imagem as ondas apresentam alguma inclinação relativamente a linha de costa ao passo que na parte central/direita da imagem as ondas são praticamente paralelas à linha de costa.



Figura 21 – Refracção das ondas na Foz do Arelho, lagoa de Óbidos (adaptado de Sancho, 2002).

A onda sofre refração ao passar obliquamente de águas mais profundas para menos profundas, pois a onda propaga-se com velocidades diferentes a diferentes profundidades, tendendo a rodar e a aproximar-se da orientação dos fundos (Marcondes, 2005).

Identificando as linhas perpendiculares às cristas das ondas como ortogonais (Figura 22), podem definir-se zonas de concentração de ortogonais (na proximidade dos cabos) que correspondem também a zonas de concentração de energia, enquanto nas baías ocorre a divergência de ortogonais e a rarefacção da energia das ondas (Coelho, 2005).

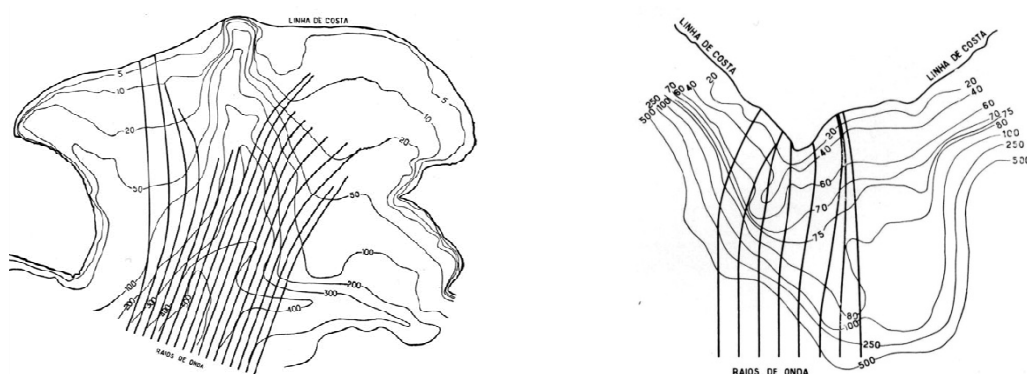


Figura 22 – Ortogonais das ondas nos casos de baía, à esquerda, e cabo, à direita (retirado de Sancho, 2002).

2.3.2.2. Difracção

A difracção é a propriedade que a onda possui de contornar um obstáculo (Figura 23) ao ser parcialmente interrompida por ele, alterando também a sua direcção (Marcondes, 2005).



Figura 23 – Difracção na baía de S. Martinho do Porto (adaptado de Sancho, 2002).

O fenómeno da difracção pode ser ilustrado do seguinte modo: considere-se um conjunto de ondas propagando-se na direcção de um quebra-mar (sentido 1-2 da Figura 24), com profundidade constante. Podem-se identificar três zonas distintas (Sancho, 2002):

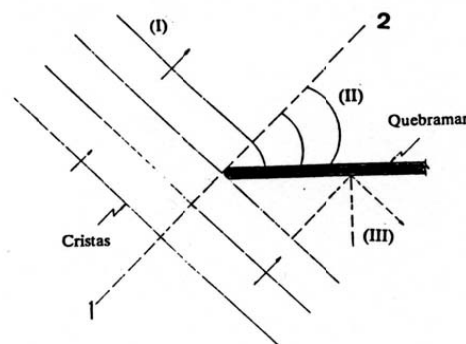


Figura 24 – Fenómeno da difracção devido a um quebra-mar (adaptado de Veloso Gomes, 1995, segundo Sancho, 2002).

- I) Zona não perturbada pela existência do quebra-mar. As ondas propagam-se normalmente;
- II) Zona de abrigo do quebra-mar, em que as cristas das ondas assumem uma configuração aproximadamente circular. As ondas da zona I transmitem energia para a zona de abrigo II através do fenómeno de difracção, isto é, através da transmissão lateral (segundo as cristas) de energia;
- III) Zona caracterizada pela sobreposição da onda incidente com a (parcial ou totalmente) reflectida pelo quebra-mar.

No presente trabalho, apesar da existência do esporão que poderia levar à difracção de algumas ondas afectando as características da onda a Sul do esporão (visto o clima de agitação ser predominantemente de NW), não foi considerado o efeito deste fenómeno.

2.3.2.3. Empolamento

Quando uma onda se aproxima de uma praia com uma incidência perpendicular, o seu comprimento de onda vai diminuindo como consequência da diminuição da velocidade de propagação, ao mesmo tempo que a sua altura vai aumentando. Este fenómeno deve-se essencialmente à diminuição das profundidades e é designado de empolamento (Coelho, 2005).

Assumindo que não existe dissipação de energia, nem reflexão da onda e que esta se propaga com direcção constante, então o fluxo de energia entre duas ortogonais é constante. O coeficiente de empolamento, calculado no ponto 2.3.3.2, traduz unicamente a diminuição da profundidade (Sancho, 2002).

2.3.3. Clima de agitação na rebentação

As fórmulas de transporte sedimentar, caracterizadas no Capítulo 4, obrigam ao conhecimento do ângulo entre a crista da onda na rebentação e a linha de costa (α_b) e da altura de onda na rebentação (H_b). Para os seus cálculos, foram considerados os efeitos da refracção e do empolamento, desprezando o efeito da difracção. Os valores calculados podem ser observados no Anexo B.

2.3.3.1. Ângulo entre a crista da onda e a linha de costa

O ângulo entre a crista da onda na rebentação e a linha de costa depende da altura de onda, do comprimento de onda, da profundidade no início da respectiva zona de rebentação e do período de onda (que será considerado constante desde o registo ao largo até à rebentação da onda). O comprimento de onda ao largo (L_0) é calculado pela expressão 7:

$$L_0 = \frac{g \times T^2}{2 \times \pi} \quad (7)$$

em que: T – período de onda.

Quando as ondas se propagam sobre fundos de profundidade decrescente, o seu comprimento vai diminuindo, ao mesmo tempo que a sua altura aumenta. Quando a profundidade desce além de um determinado valor, a onda torna-se instável e rebenta. A este limite de profundidade chama-se

profundidade de rebentação (d_b) e pode ser definido de acordo com a expressão 8. Este parâmetro, entre outros, é dependente da inclinação dos fundos e do comprimento de onda, pelo que é alvo de numerosos estudos, no entanto, esta aproximação é utilizada com frequência em aplicações da engenharia costeira (Coelho, 2005).

$$d_b = \frac{H_0}{0.78} \quad (8)$$

Pela seguinte fórmula implícita, expressão 9, recorrendo a um processo iterativo, é possível o cálculo do comprimento de onda na rebentação (L_b). O processo iterativo foi realizado até se ter conseguido estabilidade na terceira casa decimal.

$$L_b = L_0 \times \tanh\left(\frac{2 \times \pi \times d_b}{L_b}\right) \quad (9)$$

Considerando que se verificam os pressupostos da lei de Snell aplicados na engenharia costeira (isolinhas batimétricas paralelas entre si e a gradação constante e suave no sentido mar-costa das mesmas) pode-se calcular, pela expressão 10, o ângulo de refração, ou seja, o ângulo entre a crista da onda na rebentação e a linha de costa.

$$\sin(\alpha_b) \times L_0 = \sin(\alpha_0) \times L_b \quad (10)$$

Naturalmente o ângulo calculado é menor em relação ao ângulo entre a crista da onda ao largo e a linha de costa, de acordo com os valores médios totais por grupo de onda apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Ângulo médio, em graus, entre a crista da onda na rebentação e a linha de costa, por grupo de onda.

	<1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6
α_b	10.77	13.63	15.20	17.25	19.25

Em termos de relação do ângulo médio entre crista da onda na rebentação e ao largo com a linha de costa, conclui-se que existe uma aproximação da orientação da onda com a linha de costa que é mais significativa nas ondas de menor altura. Os valores de α_b calculados para cada perfil em função de cada grupo de onda, apresentam-se no Anexo C.

2.3.3.2. Altura de onda

Os valores da altura de onda são afectados pelos coeficientes de refacção e empolamento. Como os ângulos entre a crista de onda e a linha de costa variam entre perfis, obteve-se um coeficiente de refacção diferente para cada perfil e logo, uma altura de onda na rebentação, diferente para cada perfil. O coeficiente de empolamento depende do comprimento de onda e da profundidade para a qual se inicia a rebentação, o que é constante em todos os perfis variando apenas entre grupos de onda. A expressão 11 foi usada para o cálculo do coeficiente de refacção.

$$K_R = \sqrt{\frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_b)}} \quad (11)$$

Para o coeficiente de empolamento foi usada a expressão 12.

$$K_S = \frac{\cosh\left(\frac{2 \times \pi \times d_b}{L_b}\right)}{\sqrt{\cosh\left(\frac{2 \times \pi \times d_b}{L_b}\right) \sinh\left(\frac{2 \times \pi \times d_b}{L_b}\right) + \cosh\left(\frac{2 \times \pi \times d_b}{L_b}\right)}} \quad (12)$$

Com a aplicação destes dois coeficientes às alturas de onda ao largo, obtiveram-se as alturas de onda específicas para cada perfil, para cada grupo de ondas, em cada campanha (Anexo C). As alturas de onda médias em relação ao grupo de onda, podem-se obter na Tabela 10.

Tabela 10– Alturas de onda ao largo e na rebentação (m).

	≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6
H ₀	0.84	1.42	2.52	3.92	6.60
H _b	0.95	1.53	2.53	3.74	6.04

Em comparação com as alturas de onda ao largo, médias de grupo de onda, nota-se que existiu um aumento médio da altura das ondas na rebentação até ao grupo de onda [2,3] adquirindo assim o coeficiente de empolamento maior importância, sendo que para os grupos posteriores a altura de onda decresceu passando o coeficiente de refacção a surgir maior efeito.

3. Caracterização da praia

Neste ponto, estudaram-se as propriedades da praia do Areão definindo os elementos constituintes de um perfil transversal, caracterizando o seu grau de exposição e o nível energético e por fim, analisando os dados recolhidos aquando das campanhas no terreno, em função das áreas dos perfis transversais e das suas inclinações.

3.1. Sistema da praia

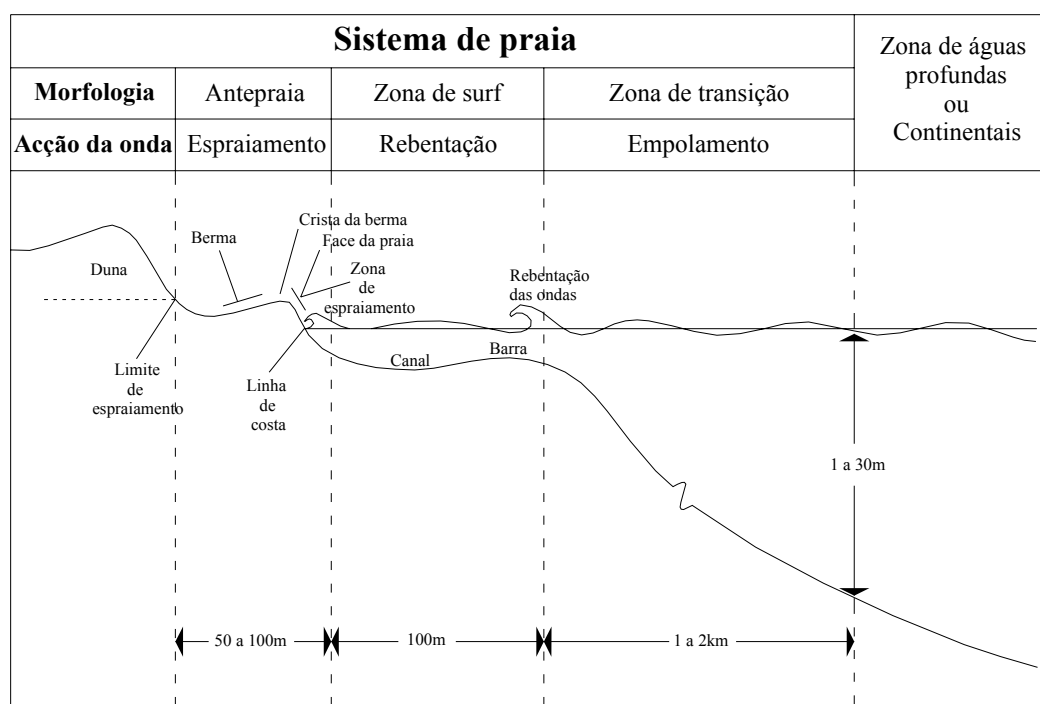


Figura 25 – Perfil transversal de um sistema de praia.

Existem várias zonas constituintes genéricas de um perfil transversal de um sistema de praia. A proposta que se segue, e que foi adoptada neste trabalho, baseia-se em Komar (1976), Short(1999) e Junior (2006) . Com base na Figura 25, podem definir-se as três principais zonas morfológicas de uma praia.

Zona de espraçamento

Zona de interacção entre as ondas e a face da praia, que poderá variar com o nível da água e que está alternadamente coberta por água no espraçamento da onda e exposta no refluxo (Komar, 1976; Costal Services Center, 2008).

Zona de rebentação

Esta zona estende-se entre as zonas de espraçamento e empolamento. Normalmente está associada à rebentação das ondas junto à costa e por isso é acompanhada por som intenso e característico. Para alguns autores, a zona de rebentação é iniciada quando se regista a seguinte igualdade (expressão 13), sendo que esta relação conduziu à dedução da expressão 8 (Costal Services Center, 2008).

$$E \times H_b = 1.5 \times d_b \quad (13)$$

em que: E – energia da onda.

A zona de rebentação é a mais variável das três zonas (espraçamento, rebentação e empolamento) e é influenciada pelas marés (Short, 1999).

Zona de empolamento

Pode ser definida entre a zona limite a maior profundidade, onde as ondas começam a interagir com o fundo alterando as suas características e passa a existir um nível de transporte sedimentar significativo, e a zona de rebentação, a menor profundidade. Esta zona limite a maior profundidade pode ser definida pela altura de fecho (Short, 1999).

O perfil transversal tipo apresentado na Figura 25, permite ainda definir vários elementos constituintes da praia. Como tal, definem-se *bermas* como sendo a porção horizontal de praia formada por deposição de sedimentos no refluxo das ondas. Podem existir praias com mais que uma berma ou então sem nenhuma berma. Por sua vez, a *crista das bermas* será o limite superior da berma (Komar, 1976). A zona da praia, normalmente em degrau, a seguir à berma na vertente voltada ao mar que é maioritariamente afectada pela água é a definição para *face da praia*. Na zona imersa, poderão formar-se barreiras de areia longitudinalmente à praia. Estas barreiras denominam-se de *barras* e podem definir-se como o cume de areia estendido paralelamente à costa que poderá ficar exposto em caso de baixa-mar. Poderá existir mais que uma barra a profundidades diferentes. Por fim, o *canal de praia* será a depressão estendida paralelamente à costa e que poderá apresentar várias profundidades (Komar, 1976).

3.2. Perfil de equilíbrio

Este conceito pode-se definir pelo perfil de uma praia que no final de um ou mais ciclos de deposição/erosão permanece constante. No entanto, o conceito de um perfil de praia de equilíbrio

sempre foi criticado, já que na natureza, as acções que afectam o equilíbrio estão sempre em mudança, tal como as marés, as ondas, as correntes e os ventos (Morang e Parson em 2002 segundo Coelho, 2005).

Para uma dada zona delimitada do litoral, o volume total de sedimentos recebidos na praia (com várias origens) podem ser equilibrados com o volume total de perdas de sedimentos. Se os ganhos forem maiores que as perdas, ter-se-á acreção e consequente avanço da linha de costa. Pelo contrário, se as perdas forem maiores que os ganhos, ter-se-á erosão. A falta de ambos indica que o perfil de equilíbrio foi atingido (Komar, 1976).

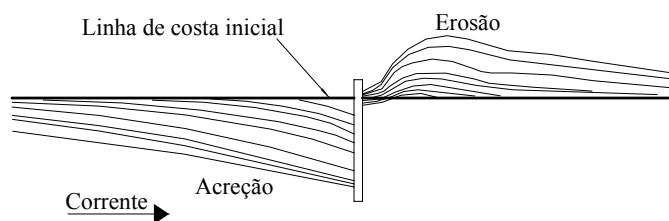


Figura 26 – Acreção e erosão a barlar e sotamar de um esporão.

3.3. Inclinação da praia

O conceito de inclinação da praia pode ter várias interpretações, sendo assim discutível a forma como esta é obtida. Inclinação num determinado ponto define-se como sendo a projecção vertical de uma recta por unidade de comprimento, tangente ao ponto considerado. No caso específico de uma praia, o ponto onde se deve determinar a inclinação, é discutível. Assim, existem algumas propostas para a obtenção desta característica. A inclinação da praia na zona de rebentação é definida por Kamphuis em 2000 (segundo Coelho 2005) como sendo:

$$m = 1.8 \times \left(\frac{H_b}{d_{50}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

Outra fórmula, empírica, é definida por Sunamura em 1984 (segundo Short, 1999):

$$m = \frac{0.12}{\left(\frac{H_b}{T \times \sqrt{g \times d_{50}}} \right)^2} \quad (15)$$

Kriebel *et al.* em 1991 (segundo Coelho, 2005) define a inclinação da praia como sendo função da velocidade de queda das partículas (w_s):

$$m = 0.15 \times \left(\frac{\omega_s \times T}{H_b} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (16)$$

A inclinação da face da praia é afectada quer pela densidade de potência da agitação incidente, quer pela dimensão e grau de calibração dos sedimentos presentes na praia. A energia da agitação e o sedimento disponível condicionam as características e a taxa de transporte sólido transversal, atingindo-se uma situação de equilíbrio dinâmico sobre a face da praia quando a taxa de sedimentos transportados em direcção a terra iguala a taxa de transporte em direcção ao mar, em cada ciclo completo de espraio e refluxo (Pereira, 2004).

Segundo Pereira (2004), Bascom em 1951 estudou a variação da inclinação da face da praia em função da dimensão do diâmetro médio em praias da costa Oeste norte-americana, tendo encontrado proporcionalidade entre as duas variáveis apercebendo-se de que esta relação dependia também do nível de energia da agitação incidente. Desta forma propôs uma solução característica para “praias expostas de alta energia”. Bascom incluiu informação recolhida ao longo da baía de Halfmoon (Califórnia) que se caracteriza por estar parcialmente protegida por um cabo, da agitação incidente do Norte, diminuindo essa mesma protecção em direcção a Sul, o que acarreta aumento da exposição e da densidade de energia da agitação incidente no mesmo sentido.

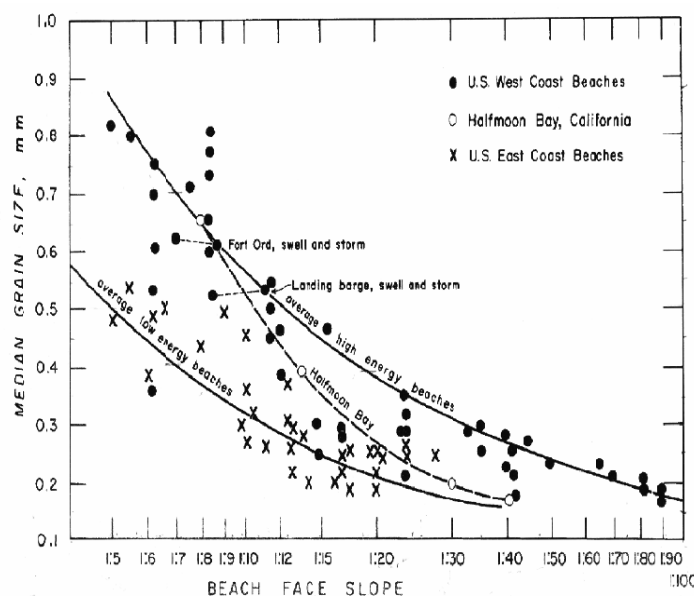


Figura 27 – Declive da face da praia em função do diâmetro médio, para sedimentos da face da praia (retirado de Pereira, 2004).

Por sua vez, Wiegel, em 1964, segundo Pereira (2004) procedeu a uma abordagem idêntica para as praias da costa Este dos Estados Unidos, definindo uma solução representativa de “praias de baixa energia”. Komar (1998), sintetizou toda a informação num gráfico (Figura 27) com a representação da variação do declive da face da praia em função do diâmetro médio para, sedimentos da face da praia, em baixa e alta energia.

Apesar de diferentes formulações possíveis, no estudo sobre a praia do Areão foi utilizada a inclinação dada pela recta que une a intersecção dos perfis com as cotas +2.0 ZH e +4.0 ZH. As inclinações obtidas são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 – *Inclinações (%) dos perfis ao longo do período estudado.*

	Perfil	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Média
Norte	500	8.61	4.91	3.64	4.37	5.76	5.95	5.54
	300	4.86	5.56	4.78	5.62	4.58	7.26	5.44
	100	7.68	5.56	6.88	11.96	4.13	7.29	7.25
Sul	100	15.16	6.18	9.84	6.27	6.24	4.74	8.07
	300	9.16	8.07	7.89	8.09	6.07	5.64	7.49
	500	9.19	13.05	13.18	9.71	7.85	7.26	10.04
	Média	9.11	7.22	7.70	7.67	5.77	6.36	7.31

Pela análise da Tabela 11 conclui-se que as inclinações crescem no sentido Norte-Sul sendo que num panorama geral da praia, ao longo das seis campanhas, a inclinação sofre ciclos oscilatórios. A maior inclinação média dos perfis apresenta-se nos registos referentes à campanha de Novembro e a média mais baixa apresenta-se nos registos da campanha de Março. Da campanha de Novembro para a de Dezembro existe uma diminuição da inclinação média mensal, entre Dezembro e Janeiro a média da inclinação cresce, entre Janeiro e Março a tendência é sempre decrescente atingindo assim o mínimo registado em Março, e, entre Março e Abril a média mensal da inclinação volta novamente a crescer.

3.4. Grau energético

O grau energético das praias define-se pela forma como a praia impõe características de rebentação distintas nas ondas. Relaciona sobretudo, a inclinação da praia com o clima de agitação marítimo. Para a classificação dos perfis do presente trabalho, foi utilizado o coeficiente de escalonamento (*surf scaling parameter* apresentado por Guza e Inman em 1975, segundo Loureiro (2006)). Podem-se encontrar três principais tipos de praias, quanto ao seu grau energético.

Praias reflectivas

Estas normalmente podem ser encontradas em zonas costeiras com alturas de onda baixas e granulometrias altas. São praias que normalmente apresentam um degrau e na base da face da praia apresentam granulometrias mais baixas. Por norma são pouco profundas e curtas (Short, 1999).

Praias intermédias

As praias do tipo intermédio correspondem aos tipos mais dinâmicos, quer no espaço (longitudinalmente), quer no tempo. A linha de costa é potencialmente rítmica o que faz com que a mobilidade da praia atinja o seu máximo neste tipo morfológico. A principal característica que lhes está associada é a presença de uma zona de rebentação horizontal com barras submarinas e correntes de retorno (Pereira, 2004).

Praias dissipativas

Apresentam, em oposição às reflectivas, alturas de onda altas e granulometrias baixas. São normalmente afectas a períodos de onda baixos e fetch pequenos. Praias dissipativas são longas e profundas (Short, 1999).

Definidos os tipos de praia existentes, procedeu-se ao cálculo do coeficiente de escalonamento (*surf scaling parameter*) que é representado por Loureiro (2006) por *epsilon* (ϵ) na expressão 17. Segundo Pereira (2005), Guza & Inman em 1975 definiram este parâmetro, em função da forma da onda ($a \times \sigma$) e da declividade da praia ($g \times \tan^2(m)$).

$$\epsilon = \frac{a \times \sigma^2}{g \times \tan^2(m)} \quad (17)$$

em que: a – amplitude da onda;
 σ – frequência angular das ondas;
 m – inclinação do perfil/praias [%].

A expressão 18 define a amplitude da onda.

$$a = \frac{H_b}{2} \quad (18)$$

A frequência angular das ondas é definida pela expressão 19.

$$\sigma = \frac{2 \times \pi}{T} \quad (19)$$

Definido o parâmetro ε , a face da praia pode ser diferenciada em:

- $\varepsilon < 2.5$ – reflectiva;
- $2.5 < \varepsilon < 20$ – intermédia;
- $\varepsilon > 20$ – dissipativa.

Após a definição do parâmetro, e os seus limites, procedeu-se ao cálculo do grau energético de cada perfil, com recurso aos valores médios do clima de agitação na rebentação em todo o período estudado. A Figura 28 mostra o coeficiente de escalonamento em função de cada perfil.

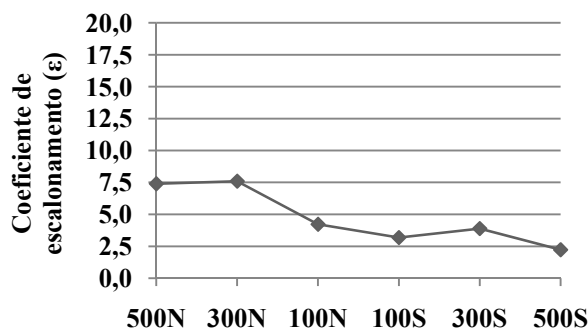


Figura 28 – Coeficiente de escalonamento (ε) da face da praia em função dos perfis.

Pode-se concluir que quanto ao grau energético a praia é intermédia, uma vez que cinco dos seis perfis apresentam essa característica. O único perfil com grau energético reflectivo, o perfil 500 Sul, apresenta um valor de coeficiente de escalonamento relativamente próximo ($\varepsilon=2.23$) do limite com grau energético intermédio. Nota-se também uma tendência de redução do coeficiente de escalonamento no sentido Norte-Sul, equivalente a um grau energético mais reflectivo.

3.5. Grau de exposição

Quanto ao grau de exposição, as praias podem dividir-se em praias expostas e praias abrigadas, podendo ainda acrescentar-se semi-expostas segundo alguns autores. No caso concreto deste trabalho tentou-se classificar cada um dos perfis transversais a Norte e Sul do esporão pela proposta de Wiegel (1964), apresentada na Figura 29.

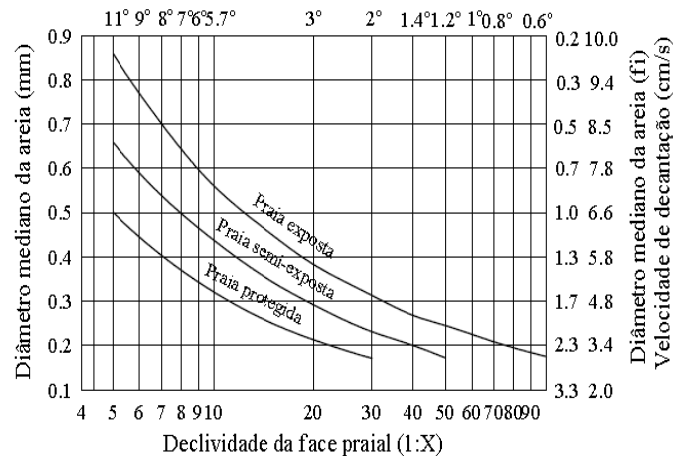


Figura 29 – Correlação entre a declividade da face da praia e a característica granulométrica dos sedimentos em função da exposição às ondas (adaptado de Wiegel, 1964).

Praias expostas podem-se definir em geral pelos seus níveis energéticos relativamente altos, onde as ondas incidem directamente sobre a linha de costa. As praias abrigadas por sua vez são praias com níveis energéticos mais baixos e que de alguma forma (baías, esporões, quebra-mares, etc) estão protegidas da incidência directa das ondas na linha de costa (Faria, 2005).

A declividade dos perfis, foi obtida pelas inclinações de cada perfil transversal ao longo das seis campanhas, apresentada no ponto 3.3. O gráfico da Figura 30 mostra o grau de exposição de cada perfil transversal.

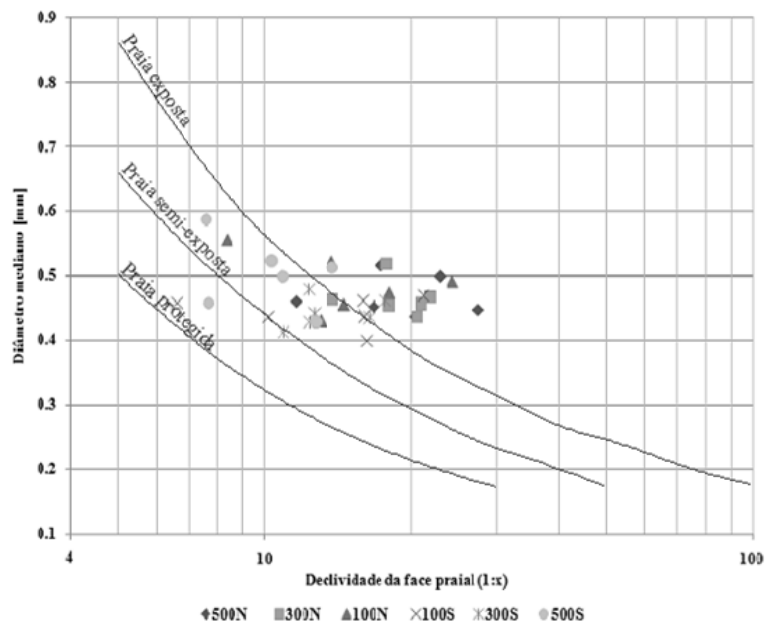


Figura 30 – Aplicação da correlação de Wiegel (1964) aos perfis transversais do Areão.

Pela observação do gráfico, pode-se dizer que cerca de 95% dos perfis classificam-se como semi-expostos ou expostos. Apenas em dois casos, perfil 100 Sul e 500 Sul, nos meses de Novembro e Dezembro respectivamente, podem-se considerar como protegidos. Com a orientação das ondas é maioritariamente de NW, o lado Norte do esporão encontra-se naturalmente exposto. O facto do esporão produzir efeito de sombra sobre o seu lado Sul, considerando um clima de agitação caracterizado pela grande frequência de ondulação proveniente de NW, pode revelar algum abrigo aos perfis Sul, nomeadamente no perfil 100 Sul. Deve-se também referir o facto das cotas de topo das dunas decrescer no sentido Norte-Sul no lado Sul do esporão. O perfil 300 Sul apresenta as cotas de topo mais baixas de todos os perfis de todas as campanhas. O perfil 100 Sul apresenta as maiores cotas de topo das dunas de todos os perfis e de todas as campanhas. Assim, se poderá concluir o possível abrigo do perfil 100 Sul e a maior exposição do perfil 300 Sul face ao clima de agitação.

É de salientar também que pela proposta de Komar (1998), Figura 27, os mesmos 95% dos perfis transversais considerados em cima, podem ser considerados como locais de alta energia quanto ao clima de agitação.

3.6. Variação das áreas dos perfis transversais

Pela análise dos perfis transversais, foi possível o cálculo de áreas entre várias cotas. Para que as áreas fossem comparáveis, teve que se definir limites para os perfis. O limite inferior foi definido como sendo a cota +2.0 ZH o que também define o limite lateral esquerdo pela intersecção do perfil com esta cota. O limite lateral direito difere em cada conjunto de perfis, ou seja, o limite direito dos perfis 500 Norte não foi necessariamente igual ao limite direito dos perfis 300 Norte. Assim, estes foram definidos por uma recta vertical que intercepta em todas as campanhas do respectivo conjunto de perfis transversais. Por exemplo, para o conjunto dos perfis 100 Norte, o limite direito definido teve como base o ponto mais a direita do perfil 100 Norte da campanha do mês Abril. O limite superior é naturalmente definido pelo próprio perfil.

Na campanha do mês de Março, os perfis 500 Norte e 500 Sul não intersectam a cota dos +2.0 ZH. Como a diferença de cota entre o ponto mais a esquerda de ambos os perfis ficava a cerca de 26 e 37cm respectivamente da cota +2.0 ZH, foi considerada uma recta vertical intersectando o último ponto mais à esquerda, definindo assim o limite destes dois perfis. A aproximação cometida é irrelevante na comparação de áreas de cada perfil transversal.

Tentou-se avaliar para que limite se podia considerar que a praia se encontra estável, sem mudanças de volume significativas, nos seus perfis transversais. Para tal, foi realizada uma análise de cálculo de áreas acima de diferentes cotas e da sua variação ao longo do tempo. As cotas definidas para caracterização da variação de áreas por perfil foram os +2.0 ZH, +4.0ZH e +6.0ZH. A cota

+2.0 ZH permite definir a área total considerada e portanto serve de área de referência. A cota +4.0ZH corresponde também a uma cota de referência de preia-mar de águas vivas também já usada em considerações anteriores. A escolha da cota +6.0ZH reteve-se com o aspecto de ser já uma cota de valor alto, de nível superior à cota do esporão e portanto da qual se esperavam resultados de variação de áreas relativamente baixas. Na Figura 31 são apresentadas as áreas de cada perfil transversal acima dessas cotas.

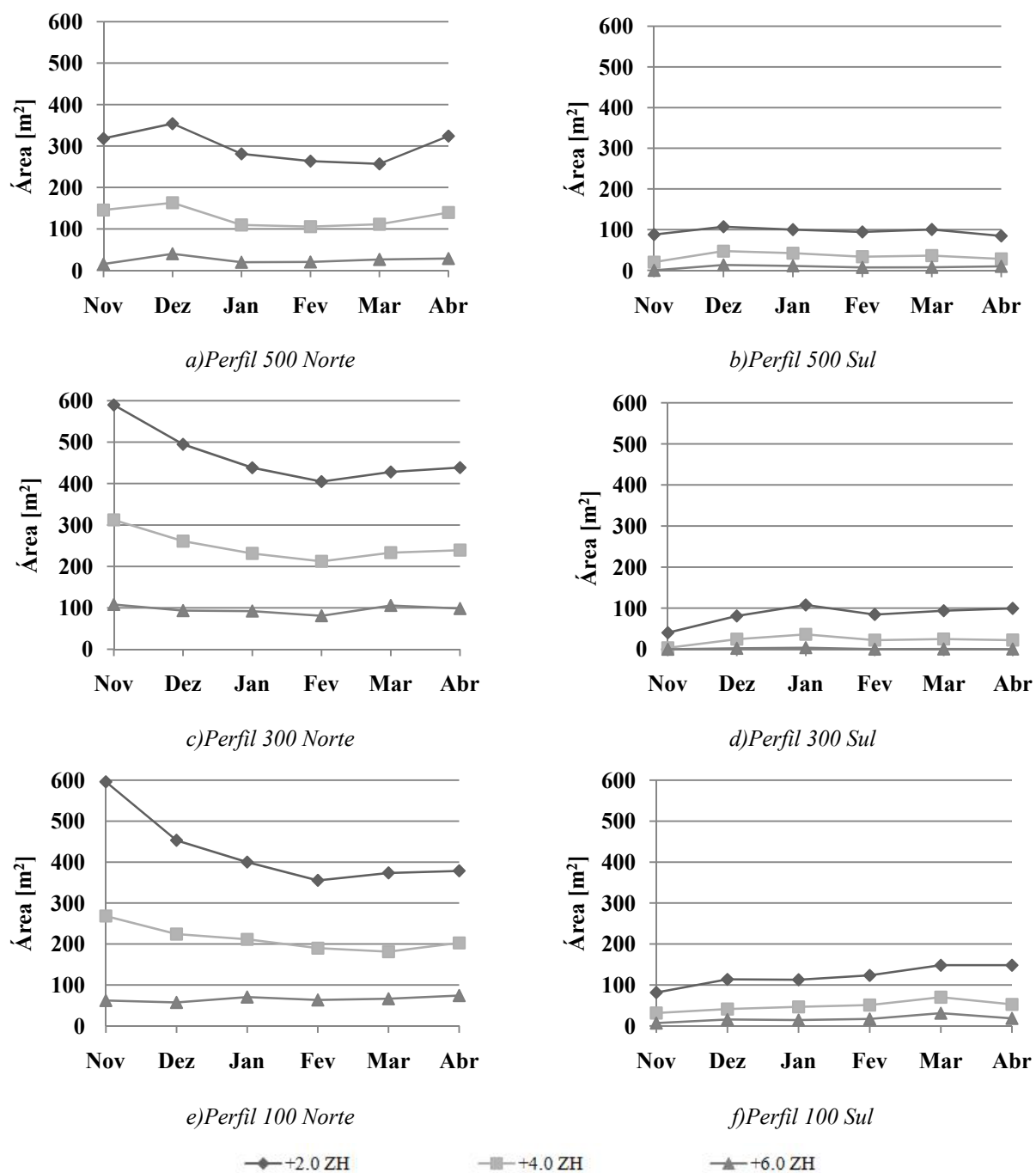


Figura 31 – Áreas dos perfis acima das cotas +2.0 ZH, +4.0 ZH e +6.0 ZH.

Como se pode observar, é nítida a diferença entre a extensão Norte e Sul do esporão a nível da variação de áreas nos perfis. A Sul a variação é bastante mais suave, pelo que se pode afirmar que acima da cota +4.0ZH a variação de área já não é significativa. Na extensão Norte do esporão as variações de áreas são bastante mais acentuadas e apenas se consegue ter algum equilíbrio de áreas acima da cota +6.0ZH. É de salientar a grande variação de área do perfil 100 Norte, pelo que em Novembro a área deste perfil é cerca de 1.7 vezes maior do que em Fevereiro, ou seja, 3 meses depois.

Para melhor se compreender a variação das áreas dos perfis nas cotas mais próximas à linha de água, foi realizado um estudo com vista à caracterização da variação da área total em relação à área compreendida entre as cotas +2.0 ZH e +4.0 ZH. Deste modo, pretendeu-se perceber de que modo as zonas do perfil transversal com maior exposição ao clima de agitação contribuem para a variação morfológica geral do perfil.

Tabela 12 – *Diferenças de áreas [m²] dos perfis, acima de determinadas cotas entre campanhas consecutivas.*

	Perfil	Nov - Dez	Dez - Jan	Jan - Fev	Fev - Mar	Mar - Abr
Norte	500	35.81	-72.90	-17.56	-6.67	67.07
	300	-95.11	-56.55	-33.44	23.28	10.51
	100	-142.86	-53.21	-44.62	18.21	5.08
Sul	100	32.11	-0.82	10.52	24.68	0.11
	300	40.80	26.81	-23.27	9.25	5.58
	500	19.15	-7.11	-5.66	6.00	-15.85

a) diferença de áreas dos perfis acima da cota +2.0 ZH

	Perfil	Nov - Dez	Dez - Jan	Jan - Fev	Fev - Mar	Mar - Abr
Norte	500	5.40	-19.56	-13.43	-12.44	38.82
	300	-43.93	-26.97	-14.40	2.49	4.29
	100	-99.41	-39.80	-23.09	26.89	-16.41
Sul	100	22.25	-5.94	6.07	5.46	17.68
	300	19.71	14.66	-8.71	6.44	8.19
	500	-7.23	-2.53	2.95	3.30	-7.79

b) diferença de áreas dos perfis entre as cotas +2.0 ZH e +4.0 ZH

A Tabela 12 a) representa a variação da área dos perfis acima da cota +2.0 ZH, ou seja, a variação de área total presente em cada perfil. Deve-se desde já referir que existem casos onde o balanço sedimentar entre as cotas +2.0 ZH e +4.0 ZH não ocorre com a mesma tendência (erosão/deposição) do balanço sedimentar total do perfil. O caso do perfil 100 Norte entre as campanhas Março e Abril e o perfil 500 Sul entre as campanhas Novembro e Dezembro mostram acreção a nível geral nos perfis e erosão entre as cotas +2.0 ZH e +4.0 ZH. No perfil 500 Sul entre as

campanhas de Janeiro e Fevereiro mostra um balanço sedimentar negativo a nível geral do perfil e no entanto, entre as cotas +2.0 ZH e +4.0 ZH o balanço sedimentar é positivo.

Deve-se referir também que existem casos onde embora o balanço sedimentar seja semelhante, qualitativamente, em todo o perfil, quantitativamente seja bastante dispar ao longo do perfil (por exemplo, o caso do perfil 100 Sul entre as campanhas de Março e Abril). Se se excluir os casos onde o balanço sedimentar é simétrico dentro do próprio perfil, tem-se uma relação da diferença de áreas dos perfis entre as cotas +2.0 ZH e +4.0 ZH sobre a diferença de área total dos perfis de 6.8, ou seja, em média, o balanço sedimentar de todo o perfil emerso é cerca de 7 vezes inferior à área variada entre as cotas +2.0 ZH e +4.0 ZH. Se se excluir os casos em que o balanço sedimentar de cada perfil entre as cotas +2.0 ZH e +4.0 ZH é superior ao balanço sedimentar total do perfil, obtém-se que 47.8% da área variada no perfil ocorre entre as cotas +2.0 ZH e +4.0 ZH.

Estes factos, representam de forma bastante clara a grande influência do clima de agitação sobre a morfologia da linha de costa, mostrando que as cotas mais baixas e logo mais expostas das praias são as que apresentam maior variação a nível de perfil transversal.

Deve-se referir também que o facto da variação das áreas dos perfis junto ao pé da duna não terem sido tão significativas, resultou numa granulometria mais estável neste local, ao longo do período estudado.

4. Transporte sedimentar

O transporte longitudinal de sedimentos existe apenas se houver uma interação entre fluidos em movimento e um limite de costa erodível. Na prática, todo o transporte de sedimentos ocorre por arrastamento ou pela combinação de transporte por arrastamento e suspensão. É possível o cálculo do total transportado pela soma do transporte em suspensão com o transporte por arrastamento (Reeve *et al.*, 2004).

A previsão da evolução morfológica da linha de costa necessita de uma importante descrição do transporte sedimentar através das ondas, marés e ventos. Uma das principais dificuldades na previsão é a grande escala do factor tempo no transporte sedimentar (Reeve *et al.*, 2004).

Através dos perfis transversais pode-se fazer uma aproximação da variação dos volumes de sedimentos na zona emersa da praia ao longo das seis campanhas. Estes volumes foram comparados com as propostas de cálculo de transporte sedimentar de CERC (1984) e Kamphuis (1991), sabendo que as fórmulas de transporte sedimentar consideradas correspondem a volumes de transporte em todo o perfil activo (emerso e imerso) pelo que poderão apresentar diferenças significativas com os volumes medidos na praia emersa apenas.

4.1. Variação dos volumes emersos

O modelo de cálculo das variações de volumes da praia emersa, teve por base a diferença de áreas presente em cada perfil e em cada campanha e, a área de influência do respectivo perfil. Assim, foi possível fazer uma aproximação do volume médio presente em cada perfil, considerando uma área de influência de 200m. Para as variações de volumes entre perfis consideram-se apenas 100m de largura de influência de cada perfil, permitindo obter dois volumes de variação em cada um dos lados do esporão e por cada campanha (ΔV_i).

A Figura 32 identifica os pontos utilizados no cálculo dos volumes e as respectivas áreas de influência, bem como as áreas entre perfis utilizadas na avaliação da diferença de volumes. À esquerda tem-se a representação das áreas de influência de cada perfil, numa extensão total de 1200m. O produto da largura de influência do perfil (200m) pelas áreas dos perfis transversais acima da cota +2.0 ZH permite o cálculo dos volumes por perfil (Tabela 13). À direita pode-se encontrar a representação das áreas consideradas para a variação de volumes, assim como a representação dos volumes teóricos (T_i) que foram obtidos por aplicação das fórmulas de cálculo de transporte sedimentar.

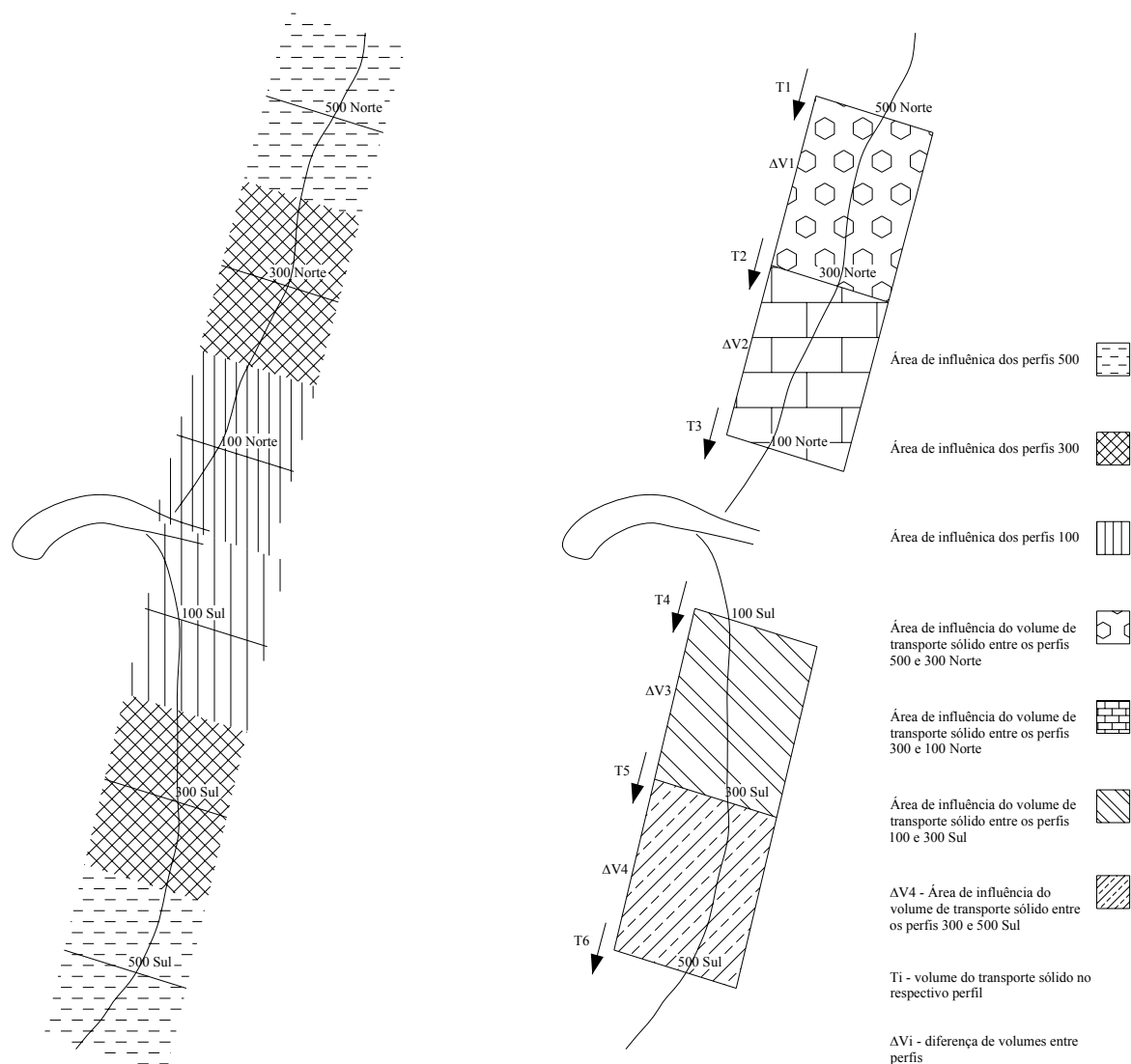


Figura 32 – Modelos de cálculo das áreas e volumes por perfil.

Seguindo o modelo descrito, foram encontrados os volumes para cada perfil ao longo do período de tempo estudado (Tabela 13).

Tabela 13 – Volumes de cada perfil acima da cota +2.0 ZH, em milhares de m^3 .

	Perfis	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Média
Norte	500	63.6	70.8	56.2	52.7	51.4	64.8	59.9
	300	117.9	98.9	87.6	80.9	85.6	87.7	93.1
	100	119.2	90.6	80.0	71.1	74.7	75.7	85.2
Sul	100	16.3	22.8	22.6	24.7	29.6	29.7	24.3
	300	8.1	16.2	21.6	16.9	18.8	19.9	16.9
	500	17.6	21.4	20.0	18.9	20.1	16.9	19.2
	Média	57.1	53.5	48.0	44.2	46.7	49.1	49.8

Tal como já foi descortinado no ponto 2.1.1, regista-se o maior volume de praia emersa no perfil 100 Norte em Novembro. A média de volumes a Norte do esporão é de cerca de 79 milhares de m^3 por perfil, e a Sul do esporão é de cerca de 20 milhares de m^3 .

De seguida, é realizado um estudo sobre a variação de volumes observada entre as campanhas e entre perfis consecutivos. Este, é expresso na Tabela 14.

Tabela 14 – *Diferenças de volumes por perfil, em milhares de m^3 , entre campanhas.*

	Nov - Dez	Dez - Jan	Jan - Fev	Fev - Mar	Mar - Abr	Média
ΔV_1	-5.9	-12.9	-5.1	1.7	7.8	-2.9
ΔV_2	-23.8	-11.0	-7.8	4.1	1.6	-7.4
ΔV_3	7.3	2.6	-1.3	3.4	0.6	2.5
ΔV_4	6.0	2.0	-2.9	1.5	-1.0	1.1
Média	-4.1	-4.8	-4.3	2.7	2.2	-1.7

Após a análise do ponto 3.6, pode-se agora mais concisamente avaliar a variação de volumes de sedimentos a Norte e a Sul da praia do Areão, no período entre campanhas. A praia a Norte apresenta uma tendência erosiva, sendo que o balanço final de ΔV_1 e ΔV_2 é cerca de 14.6 e 36.9 milhares de m^3 respectivamente. A extensão a Sul do esporão apresenta uma tendência de acreção, com um balanço final em ΔV_3 e ΔV_4 de cerca de 12.6 e 5.6 milhares de m^3 respectivamente. Considerando que o equilíbrio dinâmico resultante da construção do esporão ainda não ter sido atingido, promovendo assim erosões a Sul do esporão e acreções a Norte do esporão, a tendência encontrada ao longo destes seis meses contraria então o que seria de esperar. A tendência erosiva a Norte e a deposição a Sul do esporão podem assim ser explicadas pelo curto espaço de tempo analisado, sendo que no seu geral, entre Novembro de 2007 e Abril de 2008, a praia apresenta tendência erosiva de cerca de 1700 m^3 . Pelo conceito de perfil de equilíbrio sabe-se que o espaço de tempo analisado poderá corresponder ao período de erosão (perfil de Inverno), com tendência a crescer no período de Verão. Os meses de Fevereiro e Abril indiciam já essa tendência de acreção.

É de salientar que face à média geral de volume por perfil, de cerca de 50 milhares de m^3 , a variação média geral de 1.7 milhares de m^3 representa cerca de 3.4% do volume total do perfil. Existem casos singulares, por exemplo ΔV_2 entre as campanhas de Novembro e Dezembro, que a variação de volume no perfil representa cerca de 20% do volume total do perfil.

4.1.1. Índice de vulnerabilidade morfológica

Ferreira em 1998, tendo por base o conceito de vulnerabilidade morfológica da praia emersa, propôs dois índices de vulnerabilidade que designou respectivamente por índice de vulnerabilidade morfológica (I_v) e índice do momento (I_m). O mesmo autor define vulnerabilidade como a maior ou

menor capacidade de cada praia para suportar condições de agitação marítima adversas. Apesar de Pereira (2004) considerar que os dados avaliados para cada praia, devem ter por base, no mínimo, um ano de levantamentos sucessivos para o cálculo dos dois índices a seguir apresentados, procedeu-se ao cálculo para a praia do Areão. A aplicação dos mesmos pressupõe a existência de sazonalidade da morfologia do perfil de praia emersa (Pereira, 2004). O índice de vulnerabilidade morfológica é obtido pela expressão 20.

$$I_v = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\text{med}}} \quad (20)$$

em que: V_{\max} – volume máximo acima do nível médio do mar;
 V_{\min} – volume mínimo acima do nível médio do mar;
 V_{med} – volume médio acima do nível médio do mar.

Esta relação indica que quanto maior o valor de I_v maior a vulnerabilidade dessa praia à erosão. O comportamento de cada uma das praias é caracterizado de acordo com os seguintes limites:

$I_v < 0.35$ – comportamento robusto (R);
 $0.35 < I_v < 0.9$ – comportamento frágil (F);
 $I_v > 0.9$ – comportamento extremamente frágil (EF).

O mesmo autor propôs o índice de momento (I_m), com o objectivo de prever a vulnerabilidade ou robustez de uma praia num dado momento ou estágio morfodinâmico variável no tempo. Este índice é dado pela expressão 21 (Pereira, 2004).

$$I_m = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_m} \quad (21)$$

em que: V_m – volume para o momento I_m correspondente.

Os limites para o índice de momento, podem ser considerados iguais aos do índice de vulnerabilidade. Assim, foi possível quantificar os dois índices descritos para a praia do Areão por meio de gráficos (Figura 33). Pode-se dizer que o índice de vulnerabilidade aumenta com a proximidade ao esporão (quanto mais perto, maior o índice de vulnerabilidade) e também aumenta no sentido Norte-Sul, com excepção do perfil 500 Sul. Em suma, pode-se dizer que a praia no seu global tem um comportamento frágil na zona próxima do esporão em termos de vulnerabilidade sendo que, os dois perfis correspondentes aos extremos mostram um comportamento robusto. O perfil 300 Sul,

apresenta maior índice de vulnerabilidade. Considerando que o perfil 500 Sul estará próximo do limite onde o esporão deixa de ter acção no comportamento morfológico da praia, e que o perfil 100 Sul se encontra numa zona de sombra do esporão e por isso mais protegido do clima de agitação, pode-se explicar assim a maior exposição relativa do perfil 300 Sul e consequente maior índice de vulnerabilidade de todos os perfis estudados na praia do Areão.

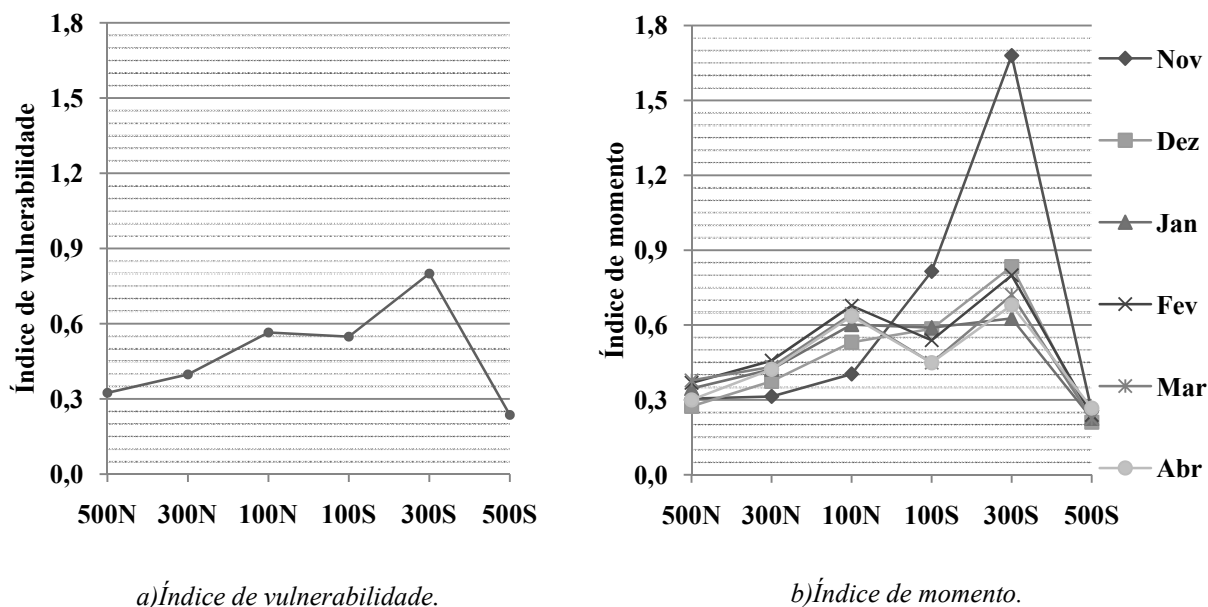


Figura 33 – Vulnerabilidade morfológica da praia do Areão.

Em termos de índice de momento, foram considerados seis momentos distintos, relativos às seis campanhas de campo realizadas. Esta análise corrobora a anterior em termos de direcção e proximidade com o esporão. A nível temporal, nota-se uma tendência crescente de vulnerabilidade até ao mês de Fevereiro ao que após se supõe uma tendência decrescente.

4.2. CERC (1984)

A fórmula CERC, desenvolvida pelo Coastal Engineering Research Center é a mais usada no cálculo do volume de transporte de sedimentos associada à previsão da evolução das linhas de costa. Admitindo que não existe reflexão da onda, nem dissipação de energia, a fórmula inclui o transporte sólido por arrastamento e por suspensão (Coelho, 2005).

$$Q = k \times \left(\frac{\rho \times \sqrt{g}}{16 \times k_b^{\frac{1}{2}} \times (\rho_s - \rho) \times (1 - n)} \right) \times H_b^{\frac{5}{2}} \times \sin(2 \times \alpha_b) \quad (22)$$

em que:

- Q – é o volume de sedimentos transportados;
- k – coeficiente empírico;
- k_b – relação entre a altura de onda na rebentação e a respectiva profundidade;
- ρ – massa volúmica da água;
- ρ_s – massa volúmica do sedimento;
- n – porosidade dos sedimentos.

Como valores de referência, foram admitidos para a massa volúmica da água 1027 kg/m^3 considerando 10°C de temperatura e salinidade de 35 partes por mil. Para a massa volúmica dos sedimentos foi considerado uma média de 2650 kg/m^3 . A relação entre a altura de onda na rebentação e a respectiva profundidade, k_b , foi adoptada constante e igual a 0.78. Para a aceleração gravítica foi usado o valor 9.8 m/s^2 . Foi considerada uma porosidade de 0.4 por ser um valor médio para este tipo de sedimentos. Por fim, existem várias propostas para a determinação do coeficiente empírico **k**, que permite a calibração de resultados, pelo que são analisadas duas (expressões 23 e 24).

$$k = 1.4 \times e^{-2.5 \times d_{50}} \quad (23)$$

proposta empírica apresentada por Valle *et al.* em 1993, segundo Coelho (2005).

$$k = 0.39 \quad (24)$$

proposta de Komar e Inman em 1970, mais comum no uso da fórmula CERC.

Para a proposta de Valle *et al.* em 1993, segundo Coelho (2005), para o cálculo do coeficiente empírico **k**, foram obtidos os valores por perfil e por campanha apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Coeficiente empírico **k** da fórmula CERC, segundo proposta de Valle *et al.* (1993).

	Perfil	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Média
Norte	500	0.403	0.452	0.383	0.125	0.179	0.433	0.329
	300	0.467	0.385	0.385	0.118	0.385	0.424	0.361
	100	0.483	0.349	0.437	0.104	0.412	0.130	0.319
Sul	100	0.599	0.477	0.546	0.343	0.425	0.393	0.464
	300	0.471	0.452	0.470	0.242	0.449	0.421	0.417
	500	0.004	0.397	0.012	0.326	0.530	0.298	0.261
	Média	0.404	0.419	0.372	0.210	0.397	0.350	0.359

Em termos médios totais o valor do coeficiente empírico **k** é de 0.36, ou seja bastante próximo da proposta de Komar e Inman, 0.39. Em resumo, pode-se dizer que o coeficiente empírico segundo a proposta de Valle *et al.* (1993) apresenta valores médios inferiores a Norte do esporão, 0.34. O valor médio a Sul do esporão é de 0.38. Em termos médios, não se verifica diferença significativa do valor deste coeficiente, mas algumas diferenças pontuais provocam um impacto no cálculo do transporte significativo. Procedeu-se ao cálculo dos volumes em transporte adoptando os coeficientes que resultam das duas propostas.

4.2.1.Cálculo do transporte sedimentar

O primeiro cálculo do volume de transporte sedimentar foi realizado usando a altura de onda na rebentação e o ângulo da crista da onda na rebentação com linha de costa. O coeficiente empírico usado foi calculado segundo a proposta de Valle *et al.* em 1993. Os volumes mensais de transporte total são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Transporte total em milhões de m^3 , pela fórmula de CERC, usando proposta de Valle *et al.* 1993 para o coeficiente empírico.

	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Média
T1	0.080	1.952	1.621	0.647	0.655	1.370	1.054
T2	0.089	1.662	1.696	0.624	1.400	1.344	1.136
T3	0.087	1.501	1.994	0.560	1.470	0.410	1.004
T4	0.111	1.877	2.670	1.892	1.383	1.260	1.532
T5	0.103	1.925	2.249	1.342	1.601	1.387	1.434
T6	0.001	1.699	0.056	1.707	1.965	0.967	1.066
Média	0.079	1.769	1.714	1.129	1.412	1.123	1.204
Média Diária	0.006	0.066	0.061	0.034	0.050	0.042	

É de salientar que os valores expressos na Tabela 16, exprimem volumes de transporte em milhões de m^3 . Os valores de transporte obtidos são todos positivos, ou seja, o transporte ocorre sempre no sentido Norte-Sul. Este facto é compreendido pela direcção de incidência das ondas ocorrer em 96% das vezes com direcções entre W e Norte (N). Em termos mensais, existe uma disparidade no mês de Novembro em que os volumes de transporte são de apenas 5.5% da média dos restantes transportes mensais. Deve-se lembrar que o transporte calculado no mês de Novembro reporta apenas a uma base de dados de clima de agitação de 13 dias. Comparando as médias diárias mensais,

continua a existir a disparidade referida embora com menor expressão. De seguida na Tabela 17, mostram-se os volumes totais de transporte, usando o coeficiente empírico de 0.39.

Tabela 17 – Transporte total em milhões de m^3 pela fórmula CERC, usando 0.39 como coeficiente empírico.

	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Média
T1	0.037	1.685	1.651	2.013	1.428	1.236	1.342
T2	0.035	1.683	1.720	2.068	1.418	1.236	1.360
T3	0.034	1.678	1.780	2.112	1.392	1.236	1.372
T4	0.035	1.537	1.909	2.153	1.270	1.250	1.359
T5	0.040	1.662	1.869	2.164	1.392	1.286	1.402
T6	0.041	1.671	1.780	2.042	1.448	1.267	1.375
Média	0.037	1.653	1.785	2.092	1.391	1.252	1.368
Média Diária	0.003	0.061	0.064	0.063	0.050	0.046	

Em termos de média por perfil, obtêm-se resultados bastante constantes e semelhantes com a média total. A disparidade do mês de Novembro é maior do que a observada na Tabela 16, já que a relação com os restantes volumes médios mensais é de 2.3%. Novamente, considerando a média diária mensal, a disparidade do mês de Novembro é menor em relação aos restantes meses, embora seja cerca de 20 vezes inferior.

Como já foi referido, dada a proximidade do valor do coeficiente empírico k com 0.39, o valor aconselhado e maioritariamente usado na fórmula CERC, a proposta de Valle *et al.* de 1993 não será considerada em análises posteriores.

Para uma melhor análise da contribuição de cada grupo de altura de onda no volume de transporte total, apresenta-se a Tabela 18.

Os valores presentes nas tabelas estão expressos em milhares de m^3 . Existe uma clara predominância da contribuição para o transporte sedimentar das ondas do grupo de altura entre os três e seis metros, em que se atinge 59%, 58%, 72%, 39% e 63% do contributo total para o transporte, nos meses de Dezembro, Janeiro, Fevereiro, Março e Abril respectivamente. O resultado mais dispar, no mês de Fevereiro, coincide também com o mês em que o grupo de onda [3,6] atinge maior expressão sobre os restantes, em termos de frequência de ocorrência. Apesar da maior capacidade de transporte das ondas mais energéticas (correspondentes às maiores alturas de onda), a menor frequência de ocorrência destas reduz o valor efectivo de transporte.

Tabela 18 – Transporte sedimentar em milhares de m^3 , em função do grupo de onda, do perfil e do mês.

T1						
	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
<1	22	10	2	1	10	5
[1,2]	15	79	77	84	104	123
[2,3]	-	153	436	458	316	331
[3,6]	-	982	964	1444	558	776
>6	-	461	173	26	440	-
Σ	37	1685	1651	2013	1428	1236

T4						
	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
<1	20	12	2	1	10	5
[1,2]	14	67	81	92	116	116
[2,3]	-	138	473	482	287	322
[3,6]	-	938	1062	1553	471	807
>6	-	381	222	24	386	-
Σ	35	1537	1841	2153	1270	1250

T2						
	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
<1	21	11	2	1	10	5
[1,2]	15	78	76	87	106	123
[2,3]	-	152	435	469	315	331
[3,6]	-	985	966	1485	551	776
>6	-	457	179	26	436	-
Σ	35	1683	1659	2068	1418	1236

T5						
	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
<1	23	11	2	1	10	5
[1,2]	17	76	81	92	109	123
[2,3]	-	150	466	488	310	337
[3,6]	-	985	1043	1557	535	820
>6	-	440	210	26	427	-
Σ	40	1662	1802	2164	1392	1286

T3						
	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
<1	20	11	2	1	10	5
[1,2]	14	78	78	89	109	123
[2,3]	-	152	448	478	310	331
[3,6]	-	986	997	1518	535	776
>6	-	452	191	26	427	-
Σ	34	1678	1716	2112	1392	1236

T6						
	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
<1	23	9	2	1	10	5
[1,2]	18	80	78	85	97	125
[2,3]	-	152	448	464	319	337
[3,6]	-	958	997	1466	574	801
>6	-	471	191	26	448	-
Σ	41	1671	1716	2042	1448	1267

4.2.2. Cálculo das variações de volumes

As variações de volumes usando a fórmula de cálculo de transporte sedimentar CERC (1984) foram obtidas usando o método referido no ponto 4.1. Os seus valores estão presentes na Tabela 19.

Tabela 19 – Variações de volume, segundo formulação CERC (1984), em milhares de m^3 .

	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Média
$\Delta V1$	1.5	2.4	-69.1	-55.0	10.3	0.0	-18.3
$\Delta V2$	1.6	4.7	-59.5	-43.5	26.2	0.0	-11.7
$\Delta V3$	-5.5	-125.2	39.8	-10.9	-121.6	-35.7	-43.2
$\Delta V4$	-1.3	-8.7	89.1	121.6	-55.9	18.2	27.2
Média	-0.9	-31.7	0.1	3.0	-35.2	-4.4	-11.5

Em termos médios para a praia do Areão as variações de volumes calculadas são na ordem dos 12 milhares de m³ de déficit, ou seja, foi estimada uma praia em erosão. O balanço sedimentar médio é negativo a Norte do esporão, de cerca de 15 milhares de m³ enquanto a Sul é de cerca de 8 milhares de m³, igualmente negativo.

Nos casos pontuais de ΔV_3 em Dezembro e Março, ΔV_4 em Janeiro e Fevereiro, obtêm-se resultados de variação mais elevados. As variações de volumes medidas nos respectivos perfis não traduzem valores com tão elevada disparidade, o que se pode adiantar que estes valores calculados se devam ao clima de agitação.

4.3. Kamphuis (1991)

Outra forma de calcular o volume total de sedimentos transportados foi encontrada por Kamphuis, em 1991. A aplicação da expressão 24 resulta em m³/hora:

$$Q = 7.3 \times H_b^4 \times T^{1.5} \times m^{0.75} \times d_{50}^{-0.25} \times \sin^{0.6}(2 \times \alpha_b) \quad (25)$$

Wang *et al.* em 2002, segundo Pereira (2004), consideraram importante avaliar o erro associado à estimativa da corrente de deriva litoral pela fórmula CERC (1984), comparativamente com outras formulações. Estes autores consideraram que o tipo de rebentação tem uma influência significativa na taxa total de transporte longitudinal e no padrão de distribuição perpendicular à linha de costa, uma vez que apresentam modos de dissipação de energia e de transporte de sedimentos distintos. Segundo a análise destes autores, a consistência dos resultados obtidos através da aplicação da expressão proposta por Kamphuis em 1991, independente do tipo de rebentação, é explicada pelo facto da formulação incluir explicitamente o período da onda que, por sua vez, condiciona o tipo de rebentação. Em consequência desta comparação Wang *et al.* (2002) acabaram por sugerir que a fórmula CERC (1984) permite obter resultados mais consistentes para eventos de tempestade, enquanto a fórmula de Kamphuis (1991) descreve melhor o transporte associado a condições de baixa energia, correspondentes a ondas com menos de 1 m de altura (Pereira, 2004).

4.3.1. Cálculo do transporte sedimentar

Procedeu-se ao cálculo do volume de transporte sedimentar, pela proposta de Kamphuis (1991), apresentado na Tabela 20.

Tabela 20 – Transporte total em milhões de m^3 , pela fórmula de Kamphuis (1991).

	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Média
T1	0.004	1.999	1.246	1.011	1.415	0.852	1.088
T2	0.002	2.079	1.546	1.205	1.303	0.984	1.187
T3	0.003	1.991	2.093	2.069	1.151	0.830	1.356
T4	0.005	1.721	2.792	1.277	1.259	0.567	1.270
T5	0.005	2.633	2.332	1.631	1.565	0.745	1.485
T6	0.004	4.303	2.397	2.082	2.315	0.902	2.000
Média	0.004	2.454	2.068	1.546	1.501	0.813	1.398
Média Diária	0.000	0.091	0.074	0.047	0.054	0.030	

A média total de transporte sedimentar, segundo esta formulação, é de 1.40 milhões de m^3 . Tal como na fórmula de CERC, o transporte na extensão Norte do esporão é inferior ao da extensão Sul, sendo o valor mediano de transporte a Norte do esporão de 1.21 milhões de m^3 ao passo que a Sul é de cerca de 1.59 milhões de m^3 . Existe apenas um caso pontual de disparidade, no perfil T6 em Dezembro em que o transporte ultrapassa os 4 milhões de m^3 . O mês de Novembro mais uma vez apresenta valores bastante reduzidos de cerca de 0.23% em relação à média geral dos restantes transportes mensais. Considerando as médias diárias, tal como se observou na formulação de CERC (1991) a discrepância de transporte sedimentar de Novembro para os restantes meses diminui significativamente.

Os volumes calculados, separados por grupo de altura de onda, em cada perfil e em cada campanha, podem ser analisados na Tabela 21. Em termos de volumes ponderados por grupo de onda, tal como na formulação CERC (1984), pode-se observar que o grupo [3,6] representa cerca de 47%, 55%, 79%, 21% e 84% do contributo total para o transporte, nos meses de Dezembro, Janeiro, Fevereiro, Março e Abril. No mês de Março as ondas superiores a seis metros recebem uma maior importância em relação ao transporte total com cerca de 69%.

Tabela 21 – Transporte sedimentar em milhares de m^3 em função do grupo de onda, do perfil e do mês.

T1						
	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
<1	2	0	0	0	1	0
[1,2]	2	7	15	17	20	19
[2,3]	-	55	176	172	120	123
[3,6]	-	926	694	794	305	710
>6	-	1010	361	27	970	-
Σ	4	1999	1246	1011	1415	852

T4						
	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
2	0	0	0	1	0	
3	6	31	22	23	11	
-	49	371	212	110	77	
-	869	1498	1013	259	479	
-	796	891	30	866	-	
5	1721	2792	1277	1259	567	

T2						
	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
<1	1	0	0	0	1	0
[1,2]	1	8	18	20	19	22
[2,3]	-	57	215	205	111	142
[3,6]	-	970	856	948	280	820
>6	-	1043	456	32	894	-
Σ	2	2079	1546	1205	1303	984

T5						
	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
2	1	0	0	1	0	
3	9	26	27	24	15	
-	73	315	274	134	104	
-	1256	1265	1288	333	625	
-	1294	726	41	1074	-	
5	2633	2332	1631	1565	745	

T3						
	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
<1	1	0	0	0	0	0
[1,2]	2	7	24	35	17	18
[2,3]	-	55	289	350	98	120
[3,6]	-	936	1150	1630	245	692
>6	-	993	629	54	790	-
3	1991	2093	2069	1151	830	

T6						
	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
2	1	0	0	1	0	
2	16	28	35	30	19	
-	117	330	354	194	129	
-	1962	1317	1637	505	754	
-	2207	721	56	1585	-	
4	4303	2397	2082	2315	902	

4.3.2.Cálculo das variações de volumes

As variações de volumes encontradas usando o cálculo de volumes pela formulação de Kamphuis (1991), estão representadas na Tabela 22.

Tabela 22 – Variações de volume, pela formulação de Kamphuis (1991), em milhares de m^3 .

	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Média
$\Delta V1$	1.4	-79.9	-300.6	-194.0	112.0	-132.4	-98.9
$\Delta V2$	-0.6	87.4	-546.8	-864.1	152.3	153.7	-169.7
$\Delta V3$	0.4	-912.3	459.3	-354.0	-305.6	-177.7	-215.0
$\Delta V4$	1.0	-1669.9	-64.3	-451.7	-749.8	-157.3	-515.3
Média	0.6	-643.7	-113.1	-466.0	-197.8	-78.4	-249.7

As variações de volumes calculadas, num cenário de média total, correspondem a uma erosão de cerca de 250 milhares de m^3 entre Novembro e Abril. Para a extensão Norte do esporão apresenta

também tendência erosiva com a variação média para o mesmo período de 134 milhares de m³. A Sul do esporão, também com tendência erosiva, a variação é bastante maior com cerca de 365 milhares de m³. O mês de Novembro apresenta novamente valores relativamente baixos para a média geral, cerca de 0.18% do transporte total médio dos restantes meses mas com a diferença da tendência ser de deposição. Existem alguns casos pontuais de disparidade, o mais relevante ocorre entre os perfis 300 e 500 Sul no mês de Dezembro em que a variação de volumes transportados ultrapassa 1.5 milhões de m³.

4.4. Discussão

Neste ponto serão realizadas considerações sobre as formulações estudadas e a sua relação com os resultados medidos nas campanhas de campo, nos diversos perfis transversais.

As variações de volumes obtidos na praia emersa ao longo dos seis meses, mostram uma praia caracterizada por alguma redução dos volumes de areia, mostrando uma ligeira tendência de acreção no lado Sul e pequena erosão no lado Norte do esporão.

Em análise à formulação de CERC (1984), refira-se em primeiro lugar a influência do coeficiente empírico. O coeficiente empírico deve ser calibrado para a praia em questão. Dado que não existem registos de valores médios a adoptar para o caso em concreto deste trabalho, foi feita uma tentativa de cálculo pelo método de Valle *et al.* em 1993, que mostrou valores médios similares mas em que o resultado pontual representa diferenças significativas. O valor de d_{50} usado nesta proposta pertenceu à amostra recolhida junto à linha de água. O recurso ao uso do valor 0.39, valor aconselhado por Komar e Inman (1970), permitiu resultados com um menor grau de incerteza (reduzindo o número de variáveis, diâmetro dos sedimentos). De acordo com os valores medidos, o coeficiente empírico teria que ser calibrado com o valor 0.05, considerando que o transporte calculado seria realizado integralmente na zona emersa da praia.

Alguns autores já sugeriram que a formulação de Kamphuis (1991) daria resultados mais coerentes em praias com clima de agitação pouco energéticas e até mesmo que seriam de esperar resultados 1.5 a 3.5 vezes menores que os resultados obtidos pela fórmula de CERC (1984) para alturas de onda inferiores a um metro, mas com resultados a nível geral ligeiramente superiores. Quanto à primeira premissa, não pode ser confirmada, visto o grau energético do clima de agitação da praia estudada poder ser considerado elevado. Para a segunda premissa, a relação pôde ser confirmada pelo que em média para ondas inferiores a um metro a formulação de CERC (1984) obteve valores 1.6 vezes superiores. A nível geral, o transporte médio total em Kamphuis (1991) é cerca de 2.2% superior a CERC (1984). A explicação encontrada para este facto, é por esta apresentar grau 4 na variável da altura de onda, o que corresponde a um valor superior ao da fórmula de CERC (1984), sendo assim

mais sensível a esta variável. Assim, em ambas as expressões, as ondas de alturas inferiores têm menor representação, contribuindo menos para o transporte total final.

Segundo Coelho (2005) a obtenção dos valores das alturas de onda já inclui um erro de medição de cerca de 10%, para a medição da direcção das ondas o erro pode chegar a 15% e cerca de 10% para a medição do período de onda o que poderá explicar uma possível e significativa variação dos resultados de transporte sedimentar. Refira-se que também se procedeu ao cálculo do transporte usando os dados de agitação marítima ao largo. O resultado obtido tanto na formulação de CERC (1984) como em Kamphuis (1991) corresponde a um incremento médio de 122% no transporte sedimentar calculado.

Em resumo, pode-se referir que as variações de volumes calculadas pela diferença de transporte sedimentar pela fórmula CERC (1984), representam que, cerca de 18% da variação de volume ocorre na parte emersa da praia. Pela fórmula de Kamphuis (1991), esta relação decresce, sendo que 1.3% da variação de volumes ocorre na parte emersa da praia. Considerando um valor médio, pelas duas formulações, pode-se concluir que apenas cerca de 10% do transporte calculado teoricamente por CERC (1984) e Kamphuis (1991) ocorre na parte emersa da praia, perante o estudo realizado na praia do Areão.

5. Conclusões

Neste capítulo são realizadas as considerações finais relativamente aos diversos capítulos assim como as conclusões e correlações entre os diversos parâmetros estudados. Deve referir-se que para a caracterização morfológica e sedimentar da praia do Areão, assim como para o cálculo do transporte sedimentar, os seis meses de estudo representam uma reduzida escala temporal de análise e a dimensão espacial da praia estudada também não permitiu uma extrapolação generalizada de resultados. A caracterização deste sistema litoral teve como elementos base a caracterização dos sedimentos da praia emersa, a caracterização do clima de agitação junto à linha de costa, a estimativa do transporte sedimentar longitudinal na praia do Areão e a identificação de tendências de transporte sedimentar na praia emersa.

Inicia-se as considerações finais com uma análise relativa aos perfis transversais. Em cada campanha, as isolinhas que unem pontos com a mesma cota entre perfis consecutivos, podem ser consideradas paralelas. Devido a este facto, resulta a definição semelhante da linha de costa pela isolinha +2.5 ZH ou +4.0 ZH. A linha de costa a Sul do esporão, denota maior consistência ao longo do tempo, como uma variação em planta praticamente inexistente. A Norte do esporão, a linha de costa definida aquando a primeira campanha em 14 de Novembro revela um nível de deposição elevado, que não é atingindo novamente em qualquer outra campanha. Pode-se apontar para um fim de ciclo de deposição, perfil de Verão, e início de um ciclo de erosão, perfil de Inverno. Como não foi possível a análise de dados do clima de agitação ou de algum perfil transversal antecedente a Novembro, nada se poderá concluir com firmeza sobre este ponto.

Em relação à variação da área do perfil ao longo do tempo, a Sul a variação é bastante mais suave, pelo que se pode afirmar que acima da cota +4.0ZH a variação de área já não é significativa. Na extensão Norte do esporão as variações de áreas são bastante mais acentuadas e apenas se consegue ter algum equilíbrio de áreas acima da cota +6.0ZH. A variação de áreas dentro do próprio perfil transversal, é difícil o descortino de uma relação, embora excluindo casos pontuais de ocorrência de deposição e erosão dentro do próprio perfil a cotas diferentes, se possa afirmar que cerca de 48% da variação da área do perfil ocorra nas cotas mais baixas e logo mais expostas ao clima de agitação.

A inclinação da praia, foi calculada pelo declive da recta que une os pontos de um perfil à cota +2.0 ZH e +4.0 ZH. Esta característica em função da análise granulométrica realizada, permitiu a avaliação dos perfis transversais, da praia do Areão, em relação ao grau energético e ao grau de exposição. Quanto ao grau energético, pode-se considerar a extensão Norte do esporão como intermédia, e a Sul do esporão como reflectiva. Este facto reside nas grandes inclinações observadas a Sul do esporão. Quanto ao grau de exposição, observou-se que cerca de 95% dos perfis transversais considerados classificaram-se como semi-expostos ou expostos. Os 2 casos em que se pode considerar

os perfis como abrigados, referem-se aos perfis 100 Sul e 500 Sul nos meses de Novembro e Dezembro. Pode-se concluir que no caso do perfil 100 Sul, este facto deve-se à sombra produzida pelo esporão a nível do clima de agitação visto que a direcção da ondulação do mês de Novembro é a que apresenta rumos mais elevados, sendo que assim o esporão produzirá maior protecção para Sul. O perfil 500 Sul do mês de Dezembro apresenta-se também como abrigado. É possível que a distância ao esporão em função do clima de agitação afecto a este mês, com rumos das direcções de onda relativamente altos, possibilite que neste caso, este perfil se tenha aproximado do limite da acção do esporão sobre a morfologia da praia.

A nível da direcção de proveniência das ondas, deve-se referir a elevada frequência de ocorrência das ondas provenientes de NW, com cerca de 55% dos registos. Refira-se também que para este quadrante, NW, registam-se alturas de onda elevadas, com altura média de 2.36m. As alturas médias de onda mais elevadas, registam-se quando ocorrem pela direcção de proveniência SW. A frequência de ocorrência destas é de apenas 1.8%. É de salientar que para direcções de proveniência de onda de W, ocorre transporte sedimentar na direcção Sul-Norte. Deve-se referir também que apenas 6.9% das ondas têm proveniência entre W e SSW, sendo que 0.2% são ondas com direcções de proveniência inferiores a 180° (SSW). Este facto torna o transporte sedimentar com sentido Sul-Norte sem relevância a nível geral.

No ponto 4.1 pode-se observar que existe uma tendência de acreção no lado Sul do esporão e erosão no lado Norte do esporão. Existem vários factores que podem ter contribuído para este facto, sem que se possa apontar um como principal. O período temporal analisado apenas permitiu a caracterização de um meio ciclo de todo um processo de equilíbrio da praia, pelo que é possível que este estudo apenas se insira principalmente no perfil de Inverno da praia, ou seja, quando ocorrem preferencialmente os maiores volumes de transporte.

Em comparação com as formulações teóricas de cálculo de transporte sedimentar, é de salientar o enorme volume de transporte registado, em cada perfil e num espaço temporal médio de 29 dias. A ordem de grandeza é de 1 milhão de m³ por mês. Na variação de volumes, em ambas as formulações, regista-se uma tendência erosiva na generalidade da praia estudada, embora com ordens de grandeza diferentes.

Em ambas as formulações pode-se observar o elevado grau de sensibilidade dos resultados em relação à altura de onda, já que é um parâmetro que aparece em CERC (1984) com potência 2.5 e em Kamphuis (1991) com potência 4. Por este facto, pode-se explicar o maior volume de transporte calculado pela fórmula de Kamphuis (1991), a nível geral, e menor volume de transporte da mesma em ondas com alturas menores do que 1m. Pela mesma formulação, nota-se uma disparidade no perfil 500 Sul (T6) no mês de Dezembro, em que o transporte ultrapassa os 4 milhões de m³. O clima de agitação para a campanha de Dezembro (entre 14 de Novembro a 11 de Dezembro, inclusive) é a que

registra maior frequência de ocorrência das ondas superiores a 6 metros, o que possivelmente explica a média geral de transporte superior às restantes campanhas. Realizou-se então uma análise de todas as variáveis presentes na fórmula para confirmar esta suposição. Além da altura de onda, outra das variáveis presentes na formulação é o período de onda, que foi admitido equivalente ao largo e na zona de rebentação e também sem variações entre perfis. Em termos médios, o mês de Dezembro apresenta períodos de onda de 7.8s, inferior à média geral de 8.3s. Assim, o período de onda não explica a disparidade referida. Em termos de diâmetro mediano da granulometria considerada, na linha de costa, neste mês não se regista nenhuma anormalidade ($d_{50}=0.49\text{mm}$), sendo que se aproxima da média das restantes campanhas ($d_{50}=0.64\text{mm}$). A diferença do diâmetro mediano poderia provocar diferenças de transporte em cerca de 7%, o que mais uma vez não explica a disparidade ocorrida em T6. Resta o ângulo entre a crista da onda na rebentação e a linha de costa. Neste caso existem algumas particularidades que podem explicar a diferença no volume em transporte. Em termos gerais, em todas as campanhas e perfis, a média deste parâmetro é de 15° , igual à média observada para o perfil T6 na campanha de Dezembro. Mas, considerando apenas a campanha de Dezembro, a média deste parâmetro sobe para os 16° , sendo que T6 apresenta mesmo o ângulo entre crista da onda na rebentação e linha de costa mais baixo. Por fim, confirma-se a grande influência da altura de onda na sensibilidade da formulação de Kamphuis (1991). Na formulação de Kamphuis (1991) os volumes de transporte calculados para as ondas superiores a 6 metros representam cerca de 38% do transporte sedimentar total, considerando apenas os meses em que estas ocorrem. Estas ocorrem 1.4% das vezes e sempre nas direcções NNW, NW e WNW. Em semelhança com o trabalho de Pereira (2004), que avaliou o contributo das ondas de altura superior a 5m (frequência de ocorrência de 1.1%) sobre o transporte sedimentar longitudinal, indicando-as como responsáveis por 22% da deriva residual.

Pela fórmula CERC (1984), também existe um transporte mais acentuado no mês de Dezembro, sendo que pelas variáveis presentes na formulação, se possa concluir que a altura de onda será a principal responsável pelas variações mais acentuadas no transporte. Tal como foi referido no ponto 4.2.1, cerca de 58% do volume de transporte sedimentar ocorre para o grupo das alturas de onda entre os 3 e os 6 metros. Já com menor expressão, cerca de 17% do volume total de transporte ocorre por acção das ondas superiores a 6 metros. Para o grupo de altura de ondas mais expressivo, neste caso entre os 3 e os 6m, a frequência de ocorrência é de cerca de 25.1% sendo que 22.9% das ocorrências deste grupo de altura de onda têm direcções de proveniência NW e WNW.

Por fim, pode-se concluir que o estudo realizado necessita de complemento por parte do perfil de Verão para assim se poderem analisar com mais precisão as variáveis presentes no transporte sedimentar.

5.1. Desenvolvimentos futuros

Como desenvolvimentos futuros, pode-se apontar principalmente para um novo estudo realizado pelas mesmas bases do presente trabalho, durante um período de tempo mais longo e para uma extensão de praia mais significativa. Assim, se poderá tentar obter correlações com maior grau de certeza. Sabendo que o transporte longitudinal ocorre mais significativamente na zona imersa da praia, pode-se tentar apontar para uma medição de volumes imersos aquando das campanhas de campo. Uma quantificação da granulometria existente na parte imersa da praia é também importante e necessária para uma melhor caracterização, tanto das variações granulométricas existentes, como do transporte na zona imersa da praia.

Outro factor que não foi considerado neste trabalho foi a acção do vento no transporte transversal de sedimentos. Sabe-se que este é o principal responsável pela formação dunar, mas será que também se poderá considerar responsável por transporte sedimentar significativo num perfil transversal?

Por fim, poderá apontar-se para um estudo mais profundo a nível do principal factor do transporte sedimentar, o clima de agitação. A análise de bases de dados mais extensas, de outros autores, poderá ser a base para resultados mais precisos.

6. Referências

Babylon, (2008). http://www.babylon.com/definition/zero_hidrogr%C3%A1fico/Portuguese

Coelho, C. D. B., (2005). Riscos de exposição de frentes urbanas para diferentes intervenções de defesa costeira. Tese de doutoramento. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro. 404 pág.

Costal Services Center, (2008). <http://www.csc.noaa.gov/text/glossary.html>

Dias, J. M. A., Ferreira, Ó. M. F. C., Pereira, A. P. R. R., (1994). Estudo Sintético de Diagnóstico da Geomorfologia e da Dinâmica Sedimentar dos Troços Costeiros entre Espinho e Nazaré. Instituto de Conservação da Natureza. 261 pág.

Faria, A. P., (2005). Eustasia Global e a Realidade do Litoral Brasileiro. Revista Brasileira de Geomorfologia, ano 6, nº2. 8 pág.

Geofísica, (2007). <http://geofisica.fc.ul.pt/informacoes/curiosidades/ondasoceano.htm>

Instituto Hidrográfico, (2008). <http://www.hidrografico.pt/boias-ondografo.php?prodid=0>

Junior, D. R. d. N., (2006). Morfologia e sedimentologia ao longo do sistema praia - duna frontal da Ilha Comprida, SP. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 156 pág.

Komar, P. D., (1976). Beach processes and sedimentation. Prentice Hall. 429 pág.

Komar, P. D., (1998). Beach processes and sedimentation. Prentice-Hall. 544pág.

Loureiro, E. J. S. M., (2006). Indicadores Geomorfológicos e Sedimentológicos na Avaliação da Tendência Evolutiva da Zona Costeira (Aplicação ao concelho de Esposende). Tese de doutoramento. Universidade do Minho. 352 pág.

Marcondes, A. C. J., (2005). Vulnerabilidade Erosiva da Praia do Nenel, Ilha Bela, Vitória-ES. Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo. 79 pág.

Martins, G. J., Marone, E., Angulo, R. J., Noernberg, M. A. e Quadros, C. J. L., (2004). Dinâmica da zona de rasa de shoaling e o transporte de sedimentos na desembocadura sul do complexo estuarino de Paranaguá-PR. Centro de Estudo do Mar, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná. 14 pág.

Muehe, D., (2001). Crítérios Morfodinâmicos para o Estabelecimento de Limites da Orla Costeira para fins de Gerenciamento. Laboratório de Geografia Marinha Departamento de Geografia – UFRJ. Revista Brasileira de Geomorfologia, Volume 2, Nº 1 (2001), pág. 35 a 44.

Pereira, C. M. P. G. C., (2004). Dinâmica de Sistemas Sedimentares do Litoral Ocidental Português a sul do Cabo Espichel. Departamento de Geociências, Universidade de Évora. 360 pág.

Pereira, P. S., (2005). Variabilidade da Orla Oceânica do Rio Grande do Sul e suas Implicações na Elaboração de Planos de Contingência: Aspectos Morfodinâmicos, Sedimentológicos e Geomorfológicos. Tese de Mestrado. Área de Oceanografia Geológica, Fundação Universidade Federal do Rio Grande. 161 pág.

Reeve, D., Chadwick, A. e Fleming, C., (2004). Coastal engineering processes, theory and design practice. 461 pág.

Rijn, L. C. J. v., Davies, A. G., Graaff, J. v., e Ribberink, J. S., (2001). SEDMOC, Sediment transport modelling in marine coastal environments. Acqua publications. 450 pág.

Sancho, F., (2002). Apontamentos de Hidráulica Marítima. Processos Fluviais e Costeiros, http://www1.ci.uc.pt/mhidro/edicoes_antigas/PFC_acetatos_10a.pdf

Short, A. D., (1999). Handbook of beach and shoreface morphodynamics. John Wiley. 379 pág.

Wiegel, R.L., (1964). Oceanographical Engineering. Prentice-Hall. 532 pág.

7. Anexos

Anexo A

Tabela 23 – Direcção da onda ao largo por grupo de onda.

	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
≤1	314	294	303	299	303	301
[1,2]	319	315	302	302	296	308
[2,3]	-	311	301	304	312	307
[3,6]	-	308	300	304	318	303
>6	-	317	293	311	315	-

Tabela 24– Ângulo entre a crista da onda e a linha de costa ao largo

		≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6	≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6
Norte	500	53	58	-	-	-	26	47	43	40	49
	300	55	60	-	-	-	27	48	44	41	50
	100	57	62	-	-	-	28	49	45	42	51
Sul	100	56	61	-	-	-	37	58	54	51	60
	300	47	52	-	-	-	30	51	47	44	53
	500	39	44	-	-	-	23	44	40	36	46

a) Novembro

		≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6
Norte	500	31	30	29	28	21
	300	33	32	31	30	23
	100	35	34	33	32	25
Sul	100	42	41	40	39	32
	300	39	38	37	36	29
	500	35	34	33	32	25

b) Dezembro

		≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6
Norte	500	27	30	32	32	39
	300	29	32	34	34	41
	100	31	34	36	36	43
Sul	100	41	44	46	46	53
	300	35	38	40	40	47
	500	28	31	33	33	40

c) Janeiro

		≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6
Norte	500	36	29	45	51	48
	300	37	30	46	52	49
	100	39	32	48	54	51
Sul	100	45	38	54	60	57
	300	39	32	48	54	51
	500	33	26	42	48	45

d) Fevereiro

		≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6
Norte	500	31	38	37	33	-
	300	31	38	37	33	-
	100	31	38	37	33	-
Sul	100	45	52	51	47	-
	300	39	46	45	41	-
	500	34	41	40	36	-

e) Março

f) Abril

Tabela 25 – Frequências de ocorrência dos grupos de onda por direcção, em cada mês.

	Nov						Dez					
	≤1	]1,2]	]2,3]	]3,6]	>6	Σ	≤1	]1,2]	]2,3]	]3,6]	>6	Σ
N												
NNE												
NE												
ENE												
E												
ESE							0.7	0.4				1.2
SE							0.2	0.4				0.7
SSE												
S												
SSW												
SW												
WSW	0.8					0.8	0.2					0.2
W	6.0					6.0	4.0					4.0
WNW	6.8	0.2				7.0	9.0	3.2	4.6	11.1		27.8
NW	48.0	17.6				65.6	6.5	15.0	6.6	16.9	3.4	48.4
NNW	16.8	3.7				20.5	3.6	10.4	2.1	1.5	0.3	17.9
Σ	78.5	21.5				100.0	24.2	29.4	13.3	29.4	3.7	100.0

	Jan						Fev					
	≤1	]1,2]	]2,3]	]3,6]	>6	Σ	≤1	]1,2]	]2,3]	]3,6]	>6	Σ
N												
NNE												
NE												
ENE												
E												
ESE												
SE												
SSE												
S												
SSW			0.2	0.2		0.3			0.5	0.2		0.7
SW			2.6	1.6		4.2			0.6	0.6		1.2
WSW		0.2	0.3			0.5			0.2	0.8		1.0
W		0.9	0.6	0.2		1.7	0.1	1.9	1.6	0.5		4.1
WNW	1.4	10.2	11.8	13.7	2.1	39.2	0.6	11.1	8.8	13.8	0.0	34.4
NW	1.2	11.2	24.8	16.1		53.4	0.3	12.9	20.9	21.3	0.2	55.6
NNW		0.0	0.3	0.3		0.6	0.0	0.2	1.5	1.2		3.0
Σ	2.6	22.5	40.8	32.0	2.1	100.0	1.1	26.3	34.1	38.3	0.2	100.0

	Mar						Abr					
	≤1	]1,2]	]2,3]	]3,6]	>6	Σ	≤1	]1,2]	]2,3]	]3,6]	>6	Σ
N												
NNE												
NE												
ENE								0.2				0.2
E												
ESE												
SE												
SSE												
S												
SSW	0.1	1.7				1.8			0.3	0.1		0.4
SW		0.8				0.8		0.2	1.2	1.8		3.2
WSW							0.2	2.5	0.9	0.1		3.7
W	0.2	1.9	0.2			2.2	1.8	1.2	0.1			3.0
WNW	8.5	16.9	4.7	0.7		30.8	2.7	6.8	7.8	5.5		22.9
NW	2.4	14.7	23.1	13.5	2.8	56.5	4.7	13.6	16.2	16.6		51.1
NNW	2.2	1.4	1.6	2.7		7.9	0.7	9.4	5.0	0.5		15.6
Σ	13.4	37.4	29.5	16.9	2.8	100.0	10.0	33.9	31.5	24.6	0.0	100.0

Anexo B

Tabela 26 – Dados de cálculo dos coeficientes de empolamento e refração.

	≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6		≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6
T₀	6.59	7.73	-	-	-		5.20	6.40	8.54	10.31	12.33
H₀	0.78	1.18	-	-	-		0.73	1.43	2.53	3.89	6.69
L₀	67.83	93.10	-	-	-		42.20	63.84	113.84	165.72	237.17
d_b	0.99	1.52	-	-	-		0.93	1.83	3.25	4.99	8.58
L_b	20.26	29.29	-	-	-		15.34	26.27	46.74	69.80	108.75
<i>a) Novembro</i>						<i>b) Dezembro</i>					
	≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6		≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6
T₀	6.84	8.22	8.97	9.49	11.11		7.66	8.69	9.00	8.69	9.78
H₀	0.90	1.58	2.54	3.98	6.38		0.97	1.44	2.55	3.84	6.15
L₀	72.93	105.30	125.42	140.46	192.43		91.60	117.72	126.30	117.66	149.29
d_b	1.16	2.03	3.26	5.11	8.18		1.24	1.84	3.27	4.92	7.88
L_b	22.66	35.91	49.31	64.56	95.02		26.36	36.32	49.57	57.68	81.19
<i>c) Janeiro</i>						<i>d) Fevereiro</i>					
	≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6		≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6
T₀	5.98	7.54	9.15	9.02	12.04		6.28	6.63	7.88	9.05	-
H₀	0.85	1.48	2.43	3.96	7.18		0.71	1.61	2.47	3.61	-
L₀	55.87	88.68	130.53	126.84	226.09		61.52	68.46	96.92	127.79	-
d_b	1.08	1.89	3.12	5.08	9.21		0.91	2.06	3.17	4.63	-
L_b	19.11	31.74	49.29	60.93	109.48		18.48	28.84	42.43	58.64	-
<i>e) Março</i>						<i>f) Abril</i>					

Tabela 27 – Coeficiente de empolamento.

	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
≤1	1.31	1.20	1.29	1.34	1.23	1.31
[1,2]	1.28	1.14	1.24	1.29	1.21	1.12
[2,3]	-	1.14	1.16	1.16	1.18	1.11
[3,6]	-	1.12	1.08	1.06	1.06	1.08
>6	-	1.08	1.05	1.01	1.06	-

Tabela 28 – Coeficiente de refração.

		≤1	|1,2]	|2,3]	|3,6]	>6			≤1	|1,2]	|2,3]	|3,6]	>6
Norte	500	0.79	0.75	-	-	-			0.95	0.85	0.87	0.89	0.84
	300	0.77	0.72	-	-	-			0.95	0.84	0.87	0.89	0.83
	100	0.75	0.70	-	-	-			0.94	0.83	0.86	0.88	0.82
Sul	100	0.76	0.71	-	-	-			0.90	0.75	0.79	0.82	0.74
	300	0.84	0.80	-	-	-			0.94	0.82	0.85	0.87	0.81
	500	0.89	0.86	-	-	-			0.96	0.87	0.89	0.92	0.86
a) Novembro							b) Dezembro						
		≤1	|1,2]	|2,3]	|3,6]	>6			≤1	|1,2]	|2,3]	|3,6]	>6
Norte	500	0.93	0.94	0.94	0.95	0.98			0.95	0.93	0.93	0.94	0.91
	300	0.92	0.93	0.94	0.94	0.97			0.94	0.93	0.92	0.93	0.90
	100	0.91	0.92	0.93	0.93	0.96			0.93	0.92	0.91	0.92	0.89
Sul	100	0.87	0.88	0.89	0.90	0.94			0.88	0.86	0.85	0.86	0.82
	300	0.89	0.90	0.91	0.92	0.95			0.91	0.89	0.89	0.90	0.86
	500	0.91	0.92	0.93	0.93	0.96			0.95	0.93	0.92	0.93	0.90
c) Janeiro							d) Fevereiro						
		≤1	|1,2]	|2,3]	|3,6]	>6			≤1	|1,2]	|2,3]	|3,6]	>6
Norte	500	0.91	0.94	0.85	0.83	0.85			0.93	0.90	0.91	0.93	-
	300	0.90	0.94	0.85	0.82	0.84			0.93	0.90	0.91	0.93	-
	100	0.89	0.93	0.83	0.80	0.82			0.93	0.90	0.91	0.93	-
Sul	100	0.85	0.90	0.78	0.75	0.77			0.85	0.81	0.82	0.85	-
	300	0.89	0.93	0.83	0.80	0.82			0.89	0.85	0.86	0.89	-
	500	0.92	0.95	0.87	0.85	0.87			0.92	0.89	0.90	0.92	-
e) Março							f) Abril						

Anexo C

Tabela 29 – Ângulo entre a crista da onda e a linha de costa na rebentação.

		≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6	≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6
Norte	500	14	15	-	-	-	9	17	16	16	20
	300	14	16	-	-	-	10	18	17	16	20
	100	14	16	-	-	-	10	18	17	16	21
Sul	100	14	16	-	-	-	13	20	19	19	23
	300	13	14	-	-	-	11	19	17	17	21
	500	11	13	-	-	-	8	17	15	14	19
a) Novembro											
		≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6	≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6
Norte	500	9	10	11	13	10	7	9	12	15	20
	300	10	11	12	13	11	8	9	13	16	21
	100	10	11	12	14	12	8	10	13	17	22
Sul	100	12	13	15	17	15	11	12	17	20	26
	300	11	12	14	16	14	9	11	15	18	24
	500	10	11	12	14	12	8	9	12	15	21
b) Dezembro											
		≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6	≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6
Norte	500	12	10	16	22	21	9	15	15	15	-
	300	12	10	16	22	21	9	15	15	15	-
	100	12	11	16	23	22	9	15	15	15	-
Sul	100	14	13	18	24	24	12	19	20	20	-
	300	12	11	16	23	22	11	18	18	18	-
	500	11	9	15	21	20	10	16	16	16	-
c) Janeiro											
		≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6	≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6
Norte	500	12	10	16	22	21	9	15	15	15	-
	300	12	10	16	22	21	9	15	15	15	-
	100	12	11	16	23	22	9	15	15	15	-
Sul	100	14	13	18	24	24	12	19	20	20	-
	300	12	11	16	23	22	11	18	18	18	-
	500	11	9	15	21	20	10	16	16	16	-
d) Fevereiro											
		≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6	≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6
Norte	500	12	10	16	22	21	9	15	15	15	-
	300	12	10	16	22	21	9	15	15	15	-
	100	12	11	16	23	22	9	15	15	15	-
Sul	100	14	13	18	24	24	12	19	20	20	-
	300	12	11	16	23	22	11	18	18	18	-
	500	11	9	15	21	20	10	16	16	16	-
e) Março											
		≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6	≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6
Norte	500	12	10	16	22	21	9	15	15	15	-
	300	12	10	16	22	21	9	15	15	15	-
	100	12	11	16	23	22	9	15	15	15	-
Sul	100	14	13	18	24	24	12	19	20	20	-
	300	12	11	16	23	22	11	18	18	18	-
	500	11	9	15	21	20	10	16	16	16	-
f) Abril											
		≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6	≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6
Norte	500	12	10	16	22	21	9	15	15	15	-
	300	12	10	16	22	21	9	15	15	15	-
	100	12	11	16	23	22	9	15	15	15	-
Sul	100	14	13	18	24	24	12	19	20	20	-
	300	12	11	16	23	22	11	18	18	18	-
	500	11	9	15	21	20	10	16	16	16	-

Tabela 30 – Altura de onda na rebentação.

		≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6		≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6
Norte	500	0.80	1.13	-	-	-		0.83	1.37	2.51	3.91	6.08
	300	0.79	1.10	-	-	-		0.83	1.36	2.50	3.89	6.03
	100	0.77	1.07	-	-	-		0.82	1.35	2.48	3.86	5.97
Sul	100	0.78	1.08	-	-	-		0.79	1.22	2.27	3.58	5.38
	300	0.85	1.22	-	-	-		0.82	1.32	2.44	3.81	5.85
	500	0.91	1.31	-	-	-		0.84	1.41	2.57	4.01	6.24

		a) Novembro						b) Dezembro				
		≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6		≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6
Norte	500	1.09	1.83	2.78	4.01	6.55		1.23	1.74	2.75	3.86	5.66
	300	1.07	1.81	2.76	3.97	6.52		1.22	1.72	2.72	3.82	5.59
	100	1.06	1.79	2.73	3.94	6.48		1.21	1.70	2.69	3.78	5.52
Sul	100	1.02	1.72	2.62	3.79	6.31		1.14	1.59	2.51	3.55	5.08
	300	1.04	1.75	2.67	3.86	6.39		1.18	1.66	2.63	3.70	5.36
	500	1.06	1.79	2.73	3.94	6.48		1.23	1.73	2.74	3.84	5.62

		c) Janeiro						d) Fevereiro				
		≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6		≤1	[1,2]	[2,3]	[3,6]	>6
Norte	500	0.95	1.68	2.45	3.42	6.45		0.87	1.63	2.49	3.92	-
	300	0.94	1.67	2.43	3.39	6.40		0.87	1.63	2.49	3.92	-
	100	0.93	1.66	2.39	3.32	6.28		0.87	1.63	2.49	3.92	-
Sul	100	0.89	1.60	2.24	3.09	5.88		0.79	1.46	2.24	3.58	-
	300	0.93	1.66	2.39	3.32	6.28		0.83	1.54	2.36	3.75	-
	500	0.96	1.70	2.51	3.52	6.61		0.85	1.60	2.45	3.86	-

		e) Março						f) Abril				
--	--	----------	--	--	--	--	--	----------	--	--	--	--